

Veterinär-Anatomisches Institut
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. A. Boos

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. PhD Frank J. Rühli

Magnetresonanzbasierte Untersuchungen an Mumien aus Ägypten und Peru

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Hendrik von Waldburg

Tierarzt
von Schwyz

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Alois Boos, Referent

PD Dr. med. PhD Frank J. Rühli, Korreferent

Zürich 2009

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	4
2 Historie und Übersicht der Mumienuntersuchung	4
2.1 Historie der Mumienuntersuchung	5
2.2 Grundlagen der Computertomographie	6
2.3 Grundlagen der Magnet-Resonanz-Tomographie	7
2.3.1 Historische Entwicklung	7
2.3.2 Technisches Prinzip	7
2.3.3 Technisches Prinzip der Ultra-Short-Echo-Time (UTE) Sequenz	9
2.4 Grundlage der C^{14} -Altersbestimmung	9
2.5 Die NMR-MOUSE®	11
2.6 Zielsetzung	12
3 Material und Methoden	13
3.1 Material	13
3.1.1 Die Peruanische Mumie	13
3.1.2 Die altägyptische Hundemumie	15
3.1.3 Der altägyptische Kopf	15
3.2 Methode	15
3.2.1 MRT und CT Daten	15
(1) Hardware	15
(2) Software	15
(3) Bildparameter	16
3.2.2 Vergleich MRT versus CT	16
(1) Bildqualität	16
(2) Signal-zu-Rauschen (SNR)	17
(3) Kontrast-zu-Rauschen (CNR)	17
3.2.3 NMR-Mouse	18
3.2.4 Histologie	22

3.2.5 C14 Altersbestimmung.....	23
4 Resultate	24
4.1 Befundung	24
4.1.1 Hund	24
4.1.2 Peruanische Mumie	25
4.1.3 Altägyptischer Kopf	26
4.2 Vergleich der Schnittbilder aus den CT und MRT Datensätzen	27
4.3 NMR-Mouse-Tiefenprofile	37
4.4 Histologie	41
4.5 C-14-Altersbestimmung	44
5 Diskussion	45
5.1 Methoden.....	45
5.1.1 MRT vs. CT.....	45
5.1.2 Die NMR-MOUSE.....	47
5.1.3 Histologie	48
5.1.4 Forschungsansätze für die Zukunft	48
6 Anhang	50
6.1 Messpunkte für SNR- und CNR-Bestimmung bei CT-und MRT-Daten.....	50
6.2 Messdaten der CT- und MRT-Bilder des altägyptischen Hundes.....	55
6.3 Messdaten der CT- und MRT-Bilder der peruanischen Mumie	60
6.4 Messdaten der CT- und MRT-Bilder des altägyptischen Kopfes	62
6.5 NMR-MOUSE Daten.....	63
6.6 C-14-Daten	66
7 Literaturverzeichnis.....	70
8 Abkürzungsverzeichnis	77
9 Medienmitteilung der Universität Zürich vom 17. Dezember 2007	78
10 Danksagung.....	80
Lebenslauf	81

1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass es möglich ist, MRT-Bilder von Mumien bzw. trockenem Gewebe ohne vorgängige Rehydratation auf einem klinischen MRT-Gerät zu generieren. Dies ist gelungen dank dem Computerprogramm „Ultra-Short-Echo-Time“ (UTE). Zudem konnte nachgewiesen werden, dass in den MRT-Bildern gewisse Strukturen sehr deutliche Signale geben, die somit leichter zu erfassen sind als in einem CT-Bild. Diese hohen Signale zeigten sich unter anderem bei Bändern, Disci intervertebrales und Resten der Einbalsamierungsflüssigkeiten.

Ein weiteres Ziel war es, die Tiefenprofile der Haut, welche mittels der NMR-MOUSE® gemessen wurden, mit histologischen Schnitten zu vergleichen. Es zeigte sich, dass der direkte Vergleich nicht möglich war, da die Gewebeprobe bei der Rehydrierung aufquoll. Es war aber trotzdem möglich, einzelne Peaks bestimmten anatomischen Strukturen zuzuordnen. Auch die Qualität der histologischen Präparate war so gut, dass man einzelne anatomische Strukturen, zum Beispiel Gefäße und Nerven, gut erkennen konnte. Zudem konnte bewiesen werden, dass die Epidermis bei einer altägyptischen Mumie nicht mehr vorhanden war.

Dank der C-14-Radiokarbonmethode war die Altersbestimmung der Mumien möglich.

Abstract

The research described in this paper demonstrates for the first time that it is possible to generate MRT-images of mummies and dry tissues, respectively, on a clinical MRT-machine without previous rehydration. This is made possible by use of the "Ultra-Short-Echo-Time" (UTE) program. Furthermore, it was shown that certain structures emit very clear signals in the MRT-imaging software. They can thus be better captured than in CT-imaging. Such strong signals are emitted i.a. by ligaments, intervertebral discs, and remainders of embalming fluids.

The second aim of this thesis was to compare the depth-profile of the skin, which was measured by use of the NMR-MOUSE®, with corresponding histological sections. It was possible to show that a direct comparison is not feasible because rehydration causes the tissue-sample to macerate. However, some peaks could still be attributed to certain anatomical structures and the quality of the histological section was good enough to allow for several anatomical structures, like vessels and nerves, to be identified. Moreover, it was shown that the epidermis was detached in the ancient Egyptian mummy.

C14 radiocarbon dating was successfully applied for the age determination of the mummies.

2 Historie und Übersicht der Mumienuntersuchung

2.1 Historie der Mumienuntersuchung

1896, kurz nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen (Röntgen, 1895), fanden schon die ersten Untersuchungen an Mumien mittels dieser neuen Technik statt. König [1] analysierte die Knieregion einer Kindermumie im Frankfurter Senkenbergmuseum und Holland [2] röntgte in Liverpool einen mumifizierten Vogel.

Die umfassendste Röntgenuntersuchung an altägyptischen Mumien führte Sir William Matthews Flinders Petrie (1853-1942) [3] im Jahre 1898 durch.

Auch die Königsmumien des ägyptischen Museums in Kairo waren mehrmals Gegenstand radiologischer Abklärungen [4, 5].

Die erste computertomographische Untersuchung (CT) einer Mumie wurde durch Harwood-Nash [6] im Jahre 1977 durchgeführt. Er untersuchte ein extrahiertes Gehirn sowie eine komplette Mumie. Ein Jahr später führten Hübner und Pahl [7] eine umfangreiche Mumienstudie mittels CT durch. Sie konnten dabei beweisen, dass die Densitometrie deutlich von entsprechenden klinischen Normalwerten abweicht, vor allem bei den Weichteilgeweben, was dem massiven Einfluss der Mumifizierung zugeschrieben werden kann.

Strouhal et al. [8] konnten in ihrer Arbeit beweisen, dass mittels CT die Fragen der Mumifizierungsart, Alters- und Geschlechtsbestimmung und Pathologien zum Todeszeitpunkt exakter beantwortet werden können.

Durch die ausgeprägte Dehydration der Mumien konnten bei Magnetresonanztomographie-Untersuchungen (MRT) keine Bilder erwartet werden. Notman und Notman et al. [9, 10] veröffentlichten dies in der ersten MRT-Untersuchung einer Mumie (Lady Tashat, Mayo Klinik Rochester). Diese negativen Ergebnisse, bzw. dass es keine Signalgebung gab, wurden durch weitere Arbeiten bestätigt [11-16].

Die ersten erfolgreichen MRT-Signale bei historischen Mumienuntersuchungen konnte Piepenbrink (1986) [14] publizieren. Er stellte Bilder einer peruanischen Kindermumie vor, die aber nur durch eine Rehydratation der Mumie generiert werden konnten. Dieser Eingriff verändert aber die Morphologie der Mumie und kann daher kaum als „nicht-invasiv“ bezeichnet werden.

Lewin zeigte im Jahre 1987 am "14th Annual Meeting of the Paleopathology Association" die ersten stereoskopischen Bilder aus einer CT-Rekonstruktion von mumifiziertem Material. Die

erste komplette 3D-Rekonstruktion einer ägyptischen Mumie wurde von Lewin und Harwood-Nash [17], Marx und D'Auria [18] und Pahl [19] jeweils 1977 publiziert. Durch diese 3D-Rekonstruktionen wurde es möglich, Körperteile wie Zähne oder das Becken genau zu untersuchen, ohne dass die Mumien aus dem Sarg gehoben werden mussten. Man konnte auch leicht Grabbeigaben, welche sich neben den Mumien oder sogar im Körper befanden, virtuell darstellen [15, 20-22].

Mit Hilfe der Histologie kann man den Grad einer Gewebekonservierung beurteilen und bei guter Konservierung auch einzelne Zellen und Bindegewebsschichten identifizieren [31-39]. Für die Histologie ist es allerdings nötig, das mumifizierte Gewebe zu rehydrieren. Diesem Prozess widmete sich Ruffer sehr intensiv [23, 24]. Die Rehydrierungsmethode ist aber sehr invasiv und hat einen starken Einfluss auf die Bindegewebsstrukturen [24]. Es gab viele Versuche, die Rehydrierungsmethoden zu verbessern [25-30], aber die Invasivität blieb bestehen.

Die Accelerator-Mass-Spectrometry-C14-Altersbestimmungsmethode wird schon seit 30 Jahren in der Archäologie für die Altersbestimmung benutzt [40]. Sie ist eine Weiterentwicklung der Radiokarbon-Altersbestimmung. Es ergeben sich jedoch immer wieder Differenzen zwischen dem physikalisch gemessenen Alter und dem archäologisch recherchierten. Dies konnte Germer [36] deutlich zeigen, da sich bei der "Manchester Mummy 1770" das errechnete Bandagenalter vom Radiokarbon-Alter des Knochens um 1400 Jahre unterschied.

2.2 Grundlagen der Computertomographie

Bei der Computertomographie befinden sich die Röntgenröhre und der Detektor jeweils auf einer gegenüberliegenden Seite des zu untersuchenden Objektes. Bei der Aufnahme drehen sich Röhre und Detektor um das zu untersuchende Objekt. Der Detektor misst die Strahlenintensität vor bzw. nach Durchtritt durch das zu untersuchende Objekt. Mit Halbleitern wird die quantitative Intensitätsschwächung gemessen. Im Gegensatz zum konventionellen Röntgen werden die empfangenen Signale auf einem Computer ausgewertet. Das CT-Bild entsteht anschliessend durch die bildliche Darstellung der Werte der Strahlenabsorption innerhalb eines Messpunktes.

Für die Strahlenabsorption wurden allgemein gültige Werte festgelegt. Der Luft gab man willkürlicherweise den Wert -1000 und Wasser den Wert 0 [41]. Diese Werte für die Dichteskala wurden nach dem Erfinder der Computertomographie Hounsfield-Einheiten (HU) benannt. Über diese Dichteskala kann ein Graukeil gelegt werden, mit einem Endpunkt (schwarz) für geringe Strahlenabsorption, wie durch Flüssigkeit oder Luft, und dem anderen

(weiss) für hohe Strahlenabsorption, wie zum Beispiel durch Knochen. Die Weite dieses Graukeils wird in HU angegeben. In der Klinik wird meist mit fest definierten Graukeilen gearbeitet. Man spricht in diesen Fällen von Fenstern ("Knochenfenster" bzw. "Weichteilfenster").

2.3 Grundlagen der Magnet-Resonanz-Tomographie

2.3.1 Historische Entwicklung

Mittels des Kernspinresonanz-Phänomens können elektromagnetische Wellensignale aus bestimmten Körpern oder Flüssigkeiten ermittelt werden.

Die ersten klinischen Bilder veröffentlichte P. Lauterburg 1973 in der Fachzeitschrift "Nature"[42].

Heute sind für dasselbe Verfahren verschiedene Benennungen in Gebrauch. Im deutschsprachigen Raum ist die Bezeichnung "Kernspintomographie" am gebräuchlichsten, in der Fachliteratur wird vorwiegend der Ausdruck "Magnetic Resonance Tomography" verwendet.

2.3.2 Technisches Prinzip

Die Kernspintomographie-Aufnahmen beruhen auf einer Kombination von Magnetismus und elektrischen Wellen, sowie ihrer Auswirkung auf Wasserstoffkerne (Protonen).

Protonen besitzen eine positive Ladung und rotieren mit einer konstanten Geschwindigkeit um die eigene Achse. Die Protonen zeigen dadurch einen nuklearen Magnetismus. Sie verhalten sich wie kleine Stabmagneten.

Bringt man die Wasserstoffkerne in ein starkes Magnetfeld, richten sich die Protonen parallel oder antiparallel zum statischen Magnetfeld aus und beginnen gleichzeitig um die Achse des Magnetfeldes zu kreisen. Gleichzeitig rotieren sie noch um ihre eigene Achse. Sie kreisen also auf einem Kegelmantel.

Das Aussenden elektromagnetischer Wellen, bei denen die Frequenz gleich der Kreiselfrequenz der Protonen ist, verursacht eine temporäre Störung der Ausrichtung des Kreisels der magnetisierten Protonen. Sie werden aus ihrem ursprünglichen Energieniveau (parallel zum Feld) auf ein höheres Energieniveau (antiparallel) gebracht. Kaum auf dem hohen Energieniveau angekommen, fallen sie sofort wieder auf ihr ursprüngliches

Energieniveau zurück. Dieser Vorgang wird als Relaxation bezeichnet. Dabei wird in der Empfängerspule ein zeitlich abnehmendes Signal induziert. Verschiedene Gewebearten haben sehr unterschiedliche Relaxationszeiten, daher variiert die Stärke der ausgestrahlten Signale mit der Gewebeart.

Um die Kerninduktionssignale räumlich aufzulösen und dadurch Bilder aus dem Körperinneren zu erhalten, legt man in die drei Dimensionen des Raumes zusätzliche Magnetfelder (sog. Gradientenfelder) und überlagert damit den ausgesandten Hochfrequenzimpuls. In Abwesenheit eines Gradientenfeldes wird die Anregung der Kerne auf die abzubildende Schicht beschränkt, da nur in dieser Schicht die Resonanzbedingung erfüllt ist.[43]

Die Richtung der Gradientenfelder ist frei einstellbar, daher ist es möglich, immer die gewünschte Schnittebene darzustellen, ohne dass der zu untersuchende Gegenstand umgelagert werden muss.

Bei der Magnetresonanz ist die Bilderzeugung multiparametrisch. Man unterscheidet extrinsische und intrinsische (gewebeeigene) Bildparameter.

Zu den intrinsischen Bildparametern gehören:

- die Stärke der magnetischen Bindung der Wasserstoffatomkerne an die unmittelbare molekulare Umgebung (Relaxationszeit T1)
- die Stärke der magnetischen Bindung der Protonen untereinander (Relaxationszeit T2)
- die Protonendichte (Dichte der signalgebenden Wasserstoffatome)
- Fluss- oder Diffusionseffekte

Zu den extrinsischen (frei wählbaren) Parametern gehören:

- der Sequenztyp
- die Pulswiederholungszeit zwischen den Einzelanregungen (Repetitionszeit TR)
- der Zeitpunkt des Echoauslesens (Echozeit TE)

- das Signal-zu-Rauschen-Verhältnis (abhängig von: Schichtdicke SL, Messfeld FOV, Anzahl Akquisitionen, Anzahl der Phasenkodierschritte)
- die Magnetfeldstärke

Durch die geeignete Wahl der extrinsischen Bildparameter können die intrinsischen Bildparameter unterschiedlich gewichtet werden. Dadurch ist es möglich, anatomische Strukturen wie Muskulatur, Fettgewebe, Gefäße und Körperflüssigkeiten mit höherem, variierbarem Kontrastumfang und damit besserer Diskriminierung, als z.B. in der Computertomographie, darzustellen.

2.3.3 Technisches Prinzip der Ultra-Short-Echo-Time (UTE) Sequenz

„Bei der Kernspinresonanzbildgebung werden Wasserstoffkerne angeregt, Radiowellen auszusenden. Die ausgesendeten Signale werden mittels geschalteter Magnetfelder ortskodiert. Aus den ortskodierten Signalen wird dann ein Bild rekonstruiert.

Die Signale klingen nach der Anregung je nach Gewebetyp unterschiedlich schnell ab. Grob gilt, je mobiler die Wasserstoffatome, desto langsamer klingt das Signal ab.

Die Ortskodierung benötigt aber Zeit und daher eine Mindestlebensdauer der Signale. Für normale klinische MR-Messungen dauert die Kodierung so lange, dass nur sehr mobile Wasserstoffatome, also weiche Gewebe und Flüssigkeiten, zum Bild beitragen. Feste Gewebe bleiben unsichtbar, da ihre Signale zerfallen, bevor die Hauptkomponenten des Bildes kodiert wurden.

UTE-Messungen sind dagegen in der Lage, auch diese Komponente abzubilden. Die UTE-Messung zeichnet sich durch eine besonders schnelle Anregung aus und eine Ortskodierung, bei der die Hauptkomponenten des Bildes unmittelbar nach der Anregung kodiert werden. Technisch wird dies durch nichtselektive Anregung und dreidimensionale radiale FID-Bildgebung ermöglicht.“ (Peter Speier, Siemens Medical Solution, Erlangen, Deutschland)

2.4 Grundlage der C^{14} -Altersbestimmung

Mit der Radiokarbonmethode kann man radioaktive Isotope des Kohlenstoffes (C^{14} = Radiokarbon) für die Datierung bestimmter Materialien verwenden.

Beim Auftreffen der kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre entstehen freie Neutronen. Diese Neutronen veranlassen den Stickstoff (80% der Erdatmosphäre) ein Proton abzugeben, so dass sich ein Kohlenstoffatom mit der Kernmasse 14 anstatt 12 bildet.

Das C^{14} hält sich ca. 70 Jahre in der Atmosphäre. Dank ständiger Neuproduktion und Zerfall stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Kohlestoffisotopen C^{12} und C^{14} ein.

Die beiden Isotope gelangen via Photosynthese in die Pflanzen und somit in die Nahrungskette aller Lebewesen. [44]

Alle organischen Materien nehmen bis zum Tod eine gewisse Menge radioaktiven Kohlenstoff auf. Das Mengenverhältnis des normalen Kohlenstoffes zum radioaktiven ist immer und überall annähernd gleich bis zum Tod. Durch den radioaktiven Zerfall des C^{14} ändert sich das Mengenverhältnis der Kohlenstoffisotope. Die Halbwertszeit des Zerfalles des C^{14} Kohlestoffatoms beträgt 5570 ± 30 Jahre. Mittels Halbwertszeit und dem Verhältnis C^{12} zu C^{14} können Datierungen bestimmt werden, die bis ca. 50000 Jahre zurückliegen.

Heute wird mit der Hilfe der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) gemessen, damit die Messzeit verkürzt sowie die Probenmenge reduziert werden können.

„Die C^{14} -Analysen ergeben als Resultat das so genannte Radiokarbon- oder C^{14} -Alter, welches in Jahren BP (Before Present - gemäss Konvention ist das vom Jahr AD 1950 aus gerechnet) angegeben wird zusammen mit dem ± 1 (sigma). Dieses Alter entspricht jedoch nicht dem historischen oder wahren Alter.

Anhand einer Eichkurve, die durch hochpräzise C^{14} -Messungen an Holzproben von Baumrinden bekannten Alters gewonnen wurde, konnte das C^{14} -Alter in ein historisches Alter umgerechnet, d.h. kalibriert werden. Die statistischen Unsicherheiten sowohl im Messverfahren wie auch in der Eichkurve führen zu Mehrdeutigkeiten. Diese resultieren aus natürlichen zeitlichen Schwankungen des C^{14} Gehaltes in der Atmosphäre in verschiedenen Zeitbereichen. Daher kann das wahre Alter mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten in mehreren Zeitintervallen liegen. Üblicherweise werden die so genannten 2 (sigma) Intervalle angegeben, die im Gesamten einer Wahrscheinlichkeit von 95.4% entsprechen. Dies bedeutet, dass im Mittel ca. bei jedem zwanzigsten untersuchten Objekt das wahre Alter innerhalb des 3 (sigma)-Intervalls anstatt des angegebenen 2 (sigma)-Intervalls zu liegen kommt.

Bei der Nennung von kalibrierten Daten müssen immer alle angegebenen wahren Zeitbereiche gezeigt werden. Es ist unzulässig, nur den Zeitbereich mit der grössten Wahrscheinlichkeit zu

nennen und Zeitbereiche mit kleineren Wahrscheinlichkeiten zu unterschlagen. Das Weglassen von Informationen verändert die Aussage und ist daher absolut unzulässig." [45]

2.5 Die NMR-MOUSE®

Die für die vorliegende Studie verwendete „nuclear-magnetic-resonance (NMR)-Sonde“ wird als NMR-MOUSE® (Mobile Universal Surface Explorer) bezeichnet. Dabei handelt es sich um ein etabliertes NMR-Gerät zur Untersuchung oberflächennaher Bereiche [46-49]. Es ist ein kostengünstiges und portables Messgerät, das somit an fast jedem beliebigen Ort eingesetzt werden kann. Dass die NMR-MOUSE® eine nicht invasive Untersuchungsmethode ist, für die es in den verschiedensten Gebieten Anwendungsmöglichkeiten gibt, wurde in vielen Arbeiten in den letzten zehn Jahren bewiesen [50-54]. Die Arbeitsweise des offenen „Tomographen“ erinnert an eine Lupe zum Betrachten eines Objektes, welche jedoch auch den Blick unter dessen Oberfläche erlaubt [55].

Es sind kaum Beschränkungen bezüglich Probengrösse und Form gegeben, nur die Probenoberfläche muss auf einer Fläche von 1 cm^2 parallel zur Sonde sein, da die Proben zur Messung direkt auf der Oberfläche der Sonde platziert werden, so dass nahezu alle Materialien zerstörungsfrei untersucht werden können [54, 56]. Aufgrund der geringen Grösse des Probenkopfes sind Messungen auf engstem Raum möglich. Die Messtiefe liegt je nach Aufbau der Sonde typischerweise zwischen 0 und 13mm.

Gemessen wird die transversale Relaxationszeit in der Probe im Verhältnis zu derjenigen von Wasser. Dies ist ein zugänglicher und empfindlicher NMR-Parameter, welcher eine Winkelabhängigkeit zeigt. Beispielsweise konnte bei einer Untersuchung von Profifussballern, Leichtathleten und Nicht-Sportlern gezeigt werden, dass Haut/Gleitgewebe ein relativ langes T2 haben. Kollagenfasern hingegen haben innerhalb der Sehne eine deutlich kürzere transversale Relaxationszeit. [57]

2.6 Zielsetzung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es zu zeigen, dass MRT bei trockenem Gewebe möglich ist. Um dies zu beweisen, werden eine peruanische Mumie sowie zwei altägyptische Mumien untersucht. Es soll zudem gezeigt werden, dass sich die verschiedenen Gewebearten unterschiedlich darstellen im CT bzw. im MRT. Die Strukturen, welche unterschiedliche Signalstärken im CT und im MRT haben, werden mittels einer 3D-Rekonstruktion genauer dargestellt. Ein quantitativer Vergleich zwischen den CT- und MRT-Daten soll durch den Vergleich „Signal zum Rauschen“ und „Kontrast zum Rauschen“ gezeigt werden.

Durch den Vergleich einer Histologieprobe der Haut und der Oberflächenprofilmessung durch die NMR-MOUSE® soll gezeigt werden, dass die einzelnen Peaks des Oberflächenprofils einer Gewebeschicht oder Gewebestruktur zugeordnet werden können.

Durch die radiologische Befundung der Mumien sollen pathologische Veränderungen aufgezeigt und dokumentiert werden.

Durch die C-14 Radiokarbonmethode soll bei den drei Mumien die historische Altersfrage beantwortet werden.

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Die Peruanische Mumie

Die Mumie gehört dem Historischen und Völkerkundemuseum St. Gallen. Leider existieren nur wenige Informationen zu dieser Mumie.

Im Schenkungsbuch des Völkerkundemuseums findet sich unter dem Eingangsdatum 14.7.1896 folgender Eintrag: "Sammlung von ausgegrabenen Altertümern [sic] aus der Zeit der Inkas, Cuzco, Peru. 1 Mumie aus einer Totengruft (Huaca), Peru".

Huaca, ein indigener emmischer Begriff, ist im ganzen Land weit verbreitet und stellt keine genaue Ortsbezeichnung dar. Mit Huaca werden allgemein heilige Orte bezeichnet.

Der Donator der Mumie ist der Konsul Oscar Zollikofer. Der Kaufmann und spätere Konsul O. Zollikofer reiste 1879 im Auftrag einer deutschen Firma nach Arequipa. Er verblieb bis 1893 in Peru. In dieser Zeit trug er einen grossen Teil seiner Sammlung zusammen und schenkte Teile der Ostschweizerischen Geographisch-Kommerziellen Gesellschaft. Diese Gesellschaft gründete das Völkerkundemuseum. Oscar Zollikofer reiste immer wieder nach Cuzco. O. Zollikofer schrieb in der "Mitteilung der Ostschweizerisch Geographisch-Kommerziellen Gesellschaft" den Artikel "Arequipa und Cuzco", auf deutsch „Notizen über Land und Leute auf Grund eigener Beobachtungen". In diesem Artikel steht: "Die ethnologischen Gegenstände, welche ich aus Cuzco mitgebracht habe, stammen wahrscheinlich aus der Zeit der Inkas, der Nachkommen jener Ureinwohner, welche die geschilderten Bauten hinterlassen haben, und wurden meistens in Grabstätten, an kaum zugänglichen, überhängenden Felspartien bei den Mumien gefunden."

Oscar Zollikofer schenkte dem Völkerkundemuseum St. Gallen über 200 Objekte und auch einige Photographien. Ein Bild [Abbildung 1] hat den Untertitel "Pissac - Huacas" und auf der Rückseite steht "Inkagräber".



Abbildung 1: Fotografie der Inkagräber von Oscar Zollikofer aus dem Völkerkundemuseum St. Gallen

Zollikofer schenkte die neununddreissigste Mumie im Buch (VA 7881, Rö-Nr 33) 1889 dem Berliner Museum. Aus der Arbeit „Radiologische Untersuchung südamerikanischer Mumien aus vorspanischer Zeit“ [58] ist zu entnehmen, dass Zollikofer in einem Brief an Max Uhle schrieb: „Dieselbe wurde bei Pissacc [sic] in der Nähe von Cuzco voriges Jahr aus einer Huaca genommen.“

Somit kann mit grosser Wahrscheinlichkeit der Fundort der peruanischen Mumie mit Pisac angegeben und bestimmt werden. Die ehemalige Bergfestung Pisac - heute eine Ruine - liegt 30 Kilometer von Cuzco entfernt. Die Gräber wurden durch Grabräuber zerstört, deshalb sind sie nie wissenschaftlich untersucht worden.

3.1.2 Die altägyptische Hundemumie

Die altägyptische Hundemumie gehört dem Tierspital Zürich und wird dort in der Anatomischen Sammlung ausgestellt. Zu der Herkunft der Mumie weiss man leider nichts.

3.1.3 Der altägyptische Kopf

Der altägyptische Kopf stammt aus der Privatsammlung von Dr. Frank J. Rühli. Sie stellt eine Schenkung aus dem Musée d'Orbe dar. Wie sie in das Museum kam, konnte leider nicht eruiert werden.

3.2 Methode

3.2.1 MRT und CT Daten

(1) Hardware

Die MRT-Daten wurden auf einem klinischen 1.5 Tesla MRT-Scanner gemessen (2562 matrix; 32768 Projektionen, non-selektive-RF-Puls von 60 μ sec, Magnetom Avanto, Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Deutschland).

Die CT Daten wurden auf einer Philips Billiance CT 40 (Philips Medical Systems, Best, Netherlands) im Orthopädischen Universitätspital Balgrist Zürich, Schweiz gemessen.

(2) Software

Die 3D isotropischen Rohdatensätze wurden mittels der Leonardo Workstations (Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Deutschland), den Computerprogrammen MedView (ViewTec AG) und Amira 4.1 (ZUSE Institut, Berlin, Deutschland) nachbereitet.

(3) Bildparameter

MRT	Altägyptische Hundemumie	Peruanische Mumie	Altägyptische Mumie
Grösse (Pixel)	256x256	256x256	256x256
Fenster W/L	70/15	100/20	449/259
TR	5	5	10
TE	0.07	0.07	0.7

CT	Altägyptische Hundemumie	Peruanische Mumie	Altägyptische Mumie
Grösse (Pixel)	512x512	512 x 512	512 x 512
Fenster W/L	1814/-629	1969/-444	1996/-444
kV	120	120	120
mA	90	308	423

3.2.2 Vergleich MRT versus CT

(1) Bildqualität

Um valide Aussagen bezüglich der Qualität von MRT- und CT-Bildern machen zu können, bedarf es Kriterien, mit deren Hilfe die einzelnen Bilder miteinander qualitativ verglichen und letztlich quantitative Unterschiede zwischen ihnen aufgezeigt werden können. Sinnvolle Vergleichskriterien für die Qualität von MRT- und CT-Bildern sind das „Signal zu Rauschen“ und der „Kontrast zu Rauschen“.

Für den Vergleich der MRT-Daten mit den CT-Daten wurden möglichst deckungsgleiche Schnittbilder verwendet. In der Schnittebene des MRT erfasste man signalintensive Strukturen und bezeichnete sie selektiv als ROI („Region of Interest“). Dieselbe Struktur wurde auch im CT erfasst, um so einen direkten Vergleich der Daten zu ermöglichen. Bei der Hundemumie und peruanischen Mumie konnte man jeweils neun nahezu deckungsgleiche Schnittebenen finden, beim altägyptischen Kopf nur deren drei.

(2) Signal-zu-Rauschen (SNR)

Die Qualität des MRT-Bildes wird unter anderem dadurch bestimmt, wie stark das so genannte „Bildrauschen“ ausgeprägt ist. Darunter versteht man ein über das gesamte Bild verteiltes diffuses Signal, welches sowohl signalgebendes Gewebe als auch den signalfreien Hintergrund des Bildes überlagert und somit die Qualität des Bildes beeinträchtigt. Erfasst wird diese Größe durch den Quotienten aus der Signalintensität (Mean) innerhalb einer betrachteten Fläche („Region of Interest“; ROI) und dem Rauschen [59]. Rauschen ist definiert als die Standardabweichung der Signalintensität (SD), welche auf einer Fläche außerhalb des dargestellten Gewebes gemessen wird.

Allgemein:

$$\text{SNR} = \frac{S_{\text{ROI}}}{SD}$$

Je höher der Wert des Quotienten ist, desto mehr setzt sich das Signal des darzustellenden Gewebes gegen das Bildrauschen durch und desto besser ist die Qualität des Bildes [59].

(3) Kontrast-zu-Rauschen (CNR)

„Ebenso wie das Signal-zu-Rauschen-Verhältnis wird auch das Kontrast-zu-Rauschen-Verhältnis (CNR) zur Beurteilung der Bildqualität herangezogen. Hierzu wird zuerst die Differenz der Signalintensitäten zweier Gewebe ermittelt“ [59]. In dieser Arbeit wurde als Vergleichsgewebe die Luft bzw. der objektfreie Raum gewählt. Diese Differenz wird anschließend als Zähler in einen Quotienten eingebracht. Der Nenner dieses Quotienten ist wiederum das Rauschen (SD), welches bereits oben definiert wurde.

Allgemein:

$$\text{CNR} = (\text{SA} - \text{SB}) / \text{SD}$$

3.2.3 NMR-Mouse

Mit der NMR-Mouse wurden die peruanische Sitzmumie sowie der ägyptische Kopf untersucht. Bei der technisch beschränkten Messtiefe von 8mm erreichte man beim Hund nicht die Gewebeschichten, da die Bandagendicke weit über 2cm betrug.

Der ägyptische Kopf wurde an zwei unterschiedlichen Stellen vermessen. Die erste Messung (Pfeil) wurde auf dem Schädeldach durchgeführt, die zweite im Bereich zwischen Oberlippe und Nase (Pfeilspitze) [Abbildung 2]. Beim ersten Messpunkt ist die knöcherne Schädeldecke selbst sichtbar, es hat weder Bandagen noch sind Weichteilschichten mit bloßem Auge erkennbar. Beim zweiten Messpunkt, oberhalb der Lippe, ist eine einzige dünne Bandagenschicht erkennbar, darunter befinden sich mehrere Schichten mumifizierten Gewebes.

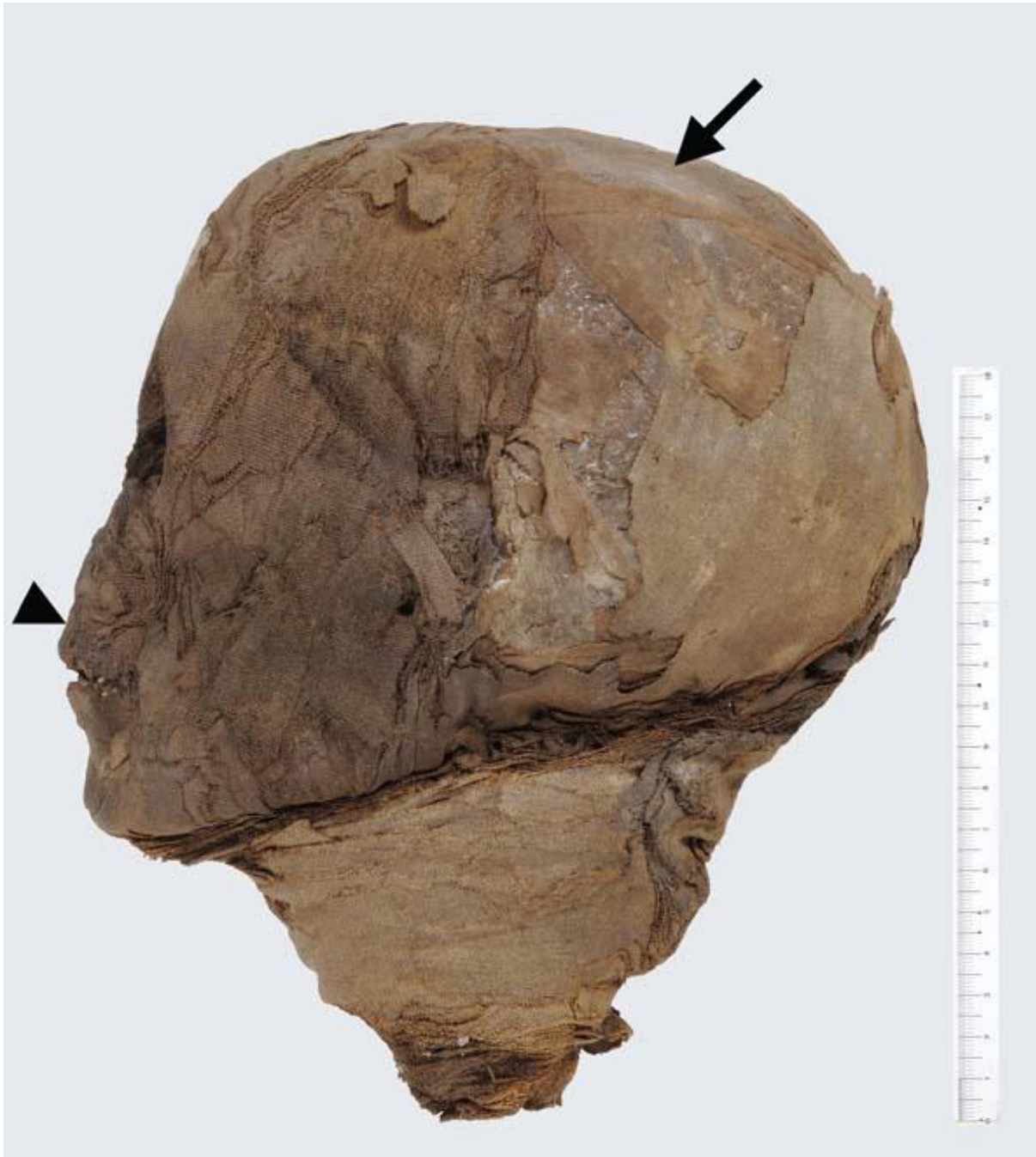


Abbildung 2: Altägyptischer Mumienkopf von links lateral

Pfeil, 1. Messpunkt

Pfeilspitze, 2. Messpunkt

Bei der peruanischen Mumie fanden an drei unterschiedlichen Stellen Messungen mittels der NMR-Mouse statt. Die erste Messung (Pfeilspitze) wurde ebenfalls auf dem Kopf gemacht. Auch bei der Wahl dieses Messpunktes wurde darauf geachtet, dass keine Weichteilstrukturen

den Schädelkochen bedeckten. Der zweite Messpunkt befindet sich proximo-lateral auf dem rechten Schienbein (Stern) [Abbildung 3]. An dieser Stelle sind mehrere Schichten Weichteile erkennbar, wie auch beim dritten Messpunkt (Pfeil), der sich auf der dorsalen linken Seite der Mumie auf dem Schulterblatt, zwei Zentimeter unterhalb der Spina scapulae, befindet [Abbildung 4].



Abbildung 3: Peruanische Mumie von vorne

Pfeilspitze, 1. Messpunkt

Stern, 2. Messpunkt



Abbildung 4: Peruanische Mumie von hinten

Pfeil, 3. Messpunkt

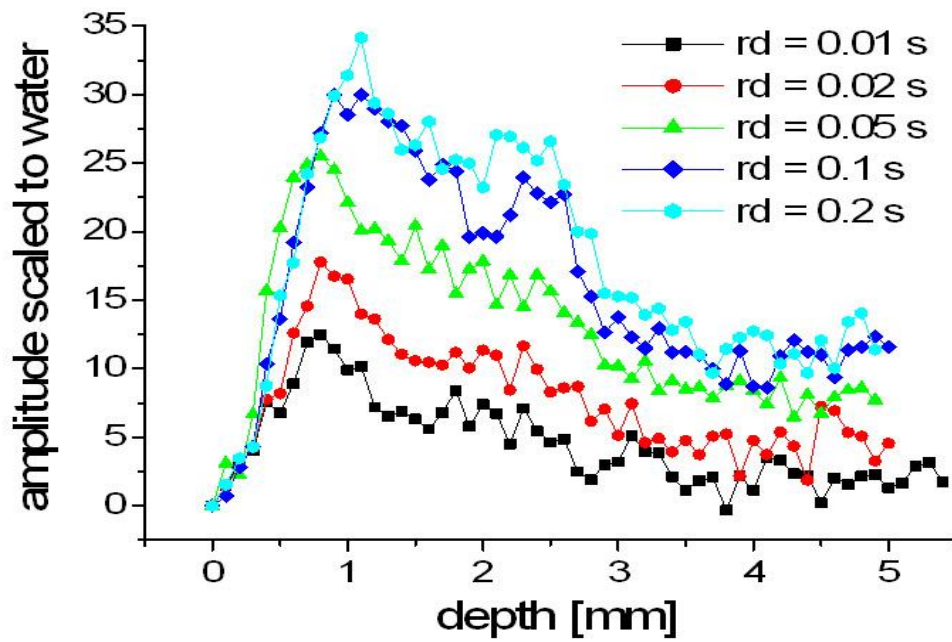


Abbildung 5: Tiefenprofile des altägyptischen Kopfes bei verschiedenen "recycle delays" (rd) relativ zu Wasser

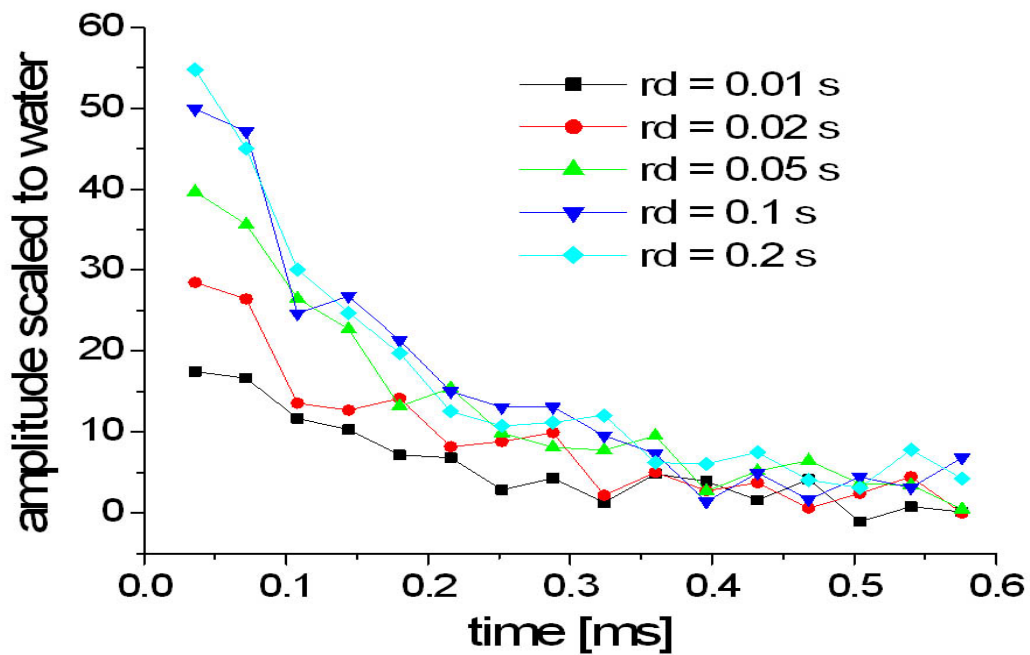


Abbildung 6: Signalstärke relativ zu Wasser bei verschiedenen "recycle delays" (rd)

Vor der Messung wurde über die Wahl der H1-Resonanzfrequenz die Messtiefe festgelegt. Die Bestimmung der T1-Zeit wurde mittels Saturation-Recovery-Puls-Sequenz bestimmt und die Tiefenprofile basieren auf einer CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Gill)-Sequenz. Dieser Parameter ist aber gegeben durch den ersten Punkt bei dem das Signal erlischt [60, 61]. Für die T2-Messungen wurde die CPMG-Sequenz benützt. Es wurde mit einem recycle delay von 0.1s gemessen, da sich keine wesentliche Verbesserung der Signalunterschiede im Verhältnis zu der stark verlängerten Messzeit bei 0.2s ergab [Abbildung 5,6].

Folgende Parameter wurden verwendet:

recycle delay	0.1s
echo time	35ms
number of echoes	16 für die Tiefenprofile

3.2.4 Histologie

Da die histologische Untersuchung nicht als eine „nicht invasive Methode“ betrachtet werden kann, wurde nur bei dem altägyptischen Kopf, welcher zur Privatsammlung von Dr. Frank Rühli (Anatomisches Institut Universität Zürich) gehört, eine Probe entnommen. Man entnahm ein 1cm³ grosses Stück aus der Region der Oberlippe.

Die histologischen Schnitte wurden durch Dr. Nathalie Trabesinger-Ruef, Anatomisches Institut Universität Zürich, nach folgender Aufbereitung, bzw. Rehydrierung der Proben hergestellt: Die 1 cm³ grosse Probe des altägyptischen Mumienkopfes wurde in 100 ml Rehydrierungsflüssigkeit (Ruffer I: 5 Vol. destilliertes Wasser, 3 Vol. absoluten EtOH, 2 Vol. einer 5 % wässrigen Natriumcarbonat-Lösung oder in Lösung III: 8 Vol. einer 0.2 % Weichmacher-Lösung in 5 % Natriumcarbonat und 2 Vol. wässrige 4 % Formaldehydlösung) inkubiert (36 h auf einem Schüttler). Jede rehydrierte Mumienprobe wurde anschliessend in 100 ml Fixierlösung (4 % Formaldehyd) gegeben und auf einem Schüttler 8 h fixiert. Danach wurden die fixierten Proben in einer Alkoholreihe entwässert (50 % EtOH, 1h; 70 % EtOH, 2 h; 80 % EtOH, 2h; 90 % EtOH, 2 h sowie zweimal 96 %, 2h; zweimal 100 %, 2 h; zweimal Xylol, 2 h; dreimal Paraffin, 2 h). Nachdem die Mumienproben im Paraffinblock eingebettet wurden, wurden sie mit einem Mikrotom geschnitten und die folgenden histologischen Färbungen wurden durchgeführt: Hämatoxylin-Eosin, Elastika van Gieson, Goldner. Die Schnitte wurden mit einem herkömmlichen Durchlichtmikroskop analysiert.

3.2.5 C14 Altersbestimmung

Dr. Frank Rühli (Anatomisches Institut Universität Zürich) entnahm für die Altersbestimmung folgende Proben:

Beim Hund wurde nur Bandagenmaterial entnommen. Man entfernte daher ein 1cm² grosses Stück der Bandage am caudalen Ende der Hundemumie. Es wurde versucht möglichst reines Bandagenmaterial zu bekommen, ohne Kontaminationen durch Teer, welche die Datierung verfälschen.

Bei dem altägyptischen Kopf wurden zwei Proben vom unteren Halsende (Höhe C7) entnommen. Die erste Probe enthielt reines aber sehr hartes Bandagenmaterial und die zweite Probe war reines mumifiziertes Gewebe, welches aus der Halsinnenseite (Höhe C7) gewonnen wurde.

Auch bei der peruanischen Mumie wurden zwei Proben entnommen: Eine Gewebeprobe aus einer Hautfalte auf der Höhe des rechten Schulterblattes und eine Zweite, die nur aus Gräsern bestand, welche sich im Becken befanden.

4 Resultate

4.1 Befundung

4.1.1 Hund

Die Befundung der altägyptischen Hundemumie wurde mit Hilfe von Dr. med. vet. Dagmar Nitzel, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich, durchgeführt.

Die Hundemumie ist in einem sehr guten Zustand, sie ist noch komplett bandagiert.

Der Kopf des Hundes enthält kein Gehirn. Es sind nur kleine Reste der Hirnhäute sichtbar. Am Hinterkopf, ventral des Tentorium cerebelli, leicht rechts paramedian, am Endpunkt der Crista sagitalis externa, zeigt sich ein 5mm grosses Loch in der Schädeldecke.

Die Nase sowie auch die Nasensepten und Nasenmuscheln sind komplett erhalten.

Die oberen und die unteren Zahnreihen sind komplett. Die Zähne sind kaum abgenutzt und die Pulpahöhlen erscheinen sehr gross.

Die Halswirbelsäule zeigt mehrere Frakturen. Der Dornfortsatz des zweiten cervicalen Wirbels (C2) ist abgeknickt und der rechte Querfortsatz ist gebrochen. Das Gelenk zwischen C3 und C4 ist subluxiert. Der Wirbel C4 weist mehrer Frakturen auf, sein Dornfortsatz ist auch hier gebrochen. Zudem sind das Wirbeldach sowie die caudale Endplatte frakturiert. Der Wirbel C5 ist intakt, aber bei C6 ist wiederum der Dornfortsatz abgebrochen. Das Gelenk zwischen C6 und C7 ist subluxiert. Der letzte Halswirbel erscheint komplett intakt.

Im Thorax sind Herz und Lunge nicht zu erkennen. Es sind nur noch einzelne Bindegewebereste davon erkennbar. Die 4. linke Rippe ist nach caudal gedreht. Das Zwerchfell ist intakt, obwohl es nicht mehr ausgespannt ist; es konnten keine Läsionen daran erkannt werden.

Es ist eine runde ovale Struktur an der ventralen Bauchwand zu erkennen, die als Magen interpretiert werden kann. Darin enthalten sind einzelne kleine Knochenreste sowie vier bohnenartige Strukturen. Die kleinen Knochenreste im Magen lassen mit grosser Wahrscheinlichkeit auf ein Mäuseskelett schliessen. Die restlichen Organe im Abdomen kann man nicht einzeln identifizieren. Es sind im caudalen Teil nochmals drei bohnenartige Strukturen zu erkennen, die wahrscheinlich im Darm liegen, welcher aber als einzelnes Organ nicht zu erkennen ist.

Im Becken sind die Weichteilstrukturen ebenfalls nicht mehr zu erkennen. Das knöcherne Becken weist mehrere Frakturen auf. Der rechte Darmbeinflügel, der Darmbeinkörper sowie die Beckensymphyse sind gebrochen.

Der Hund besitzt nur sechs Lendenwirbel anstatt sieben.

4.1.2 Peruanische Mumie

Die CT-Befundung wurde durch Dr. Frank Rühli, Dr. Thomas Böni und med. vet. Hendrik von Waldburg durchgeführt.

Die Schädelhöhle erscheint leer, das Hirn ist zum grossen Teil nicht nachweisbar, jedoch sind Reste der Hirnhäute sichtbar. Im hinteren Schädelteil sind kleinere, stark röntgendichte Strukturen zu erkennen. Dabei könnte es sich um Hirnreste oder Teile der Hirnhäute handeln. Beide Augen sind deutlich geschrumpft, jedoch rechts mehr als links. Es finden sich keine traumatischen Läsionen an der Schädelbasis und auch die Nasenscheidewand erscheint intakt. Einzelne stark röntgendichte, knotenförmige Strukturen finden sich auch im Bereich der Kieferhöhlen, im Bereich des Hinterhauptslochs sowie in den Nasenmuscheln. Hierbei dürfte es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um Verunreinigungen, bspw. durch Steine handeln. Ebenfalls sehr röntgendicht erscheinen die Sehnen der Hände, welche vor und neben dem Gesicht positioniert sind.

Im Bereich der Schultern fallen beidseits symmetrische knöcherne Strukturen auf, bei denen es sich entweder um anatomische Normvarianten im Sinne eines Zusatzknochens oder um ein verkalktes Ligamentum coraco-humerale handeln könnte. Die schulternahen Wachstumsfugen der beiden Oberarmknochen sind deutlich sichtbar. Aufgrund des Zustandes der Wachstumsfugen dürfte es sich um ein ca. 15 bis 16-jähriges Individuum handeln. Das Gebiss erscheint mehrheitlich intakt. Einzig der erste Frontzahn im rechten Unterkiefer sowie der zweite Frontzahn im linken Unterkiefer sind vermutlich nach dem Tod verloren gegangen. Im Bereich des rechten Schulterblattes findet sich ein kleines ca. 2mm grosses Loch mit Randsklerose. Hierbei dürfte es sich um ein prominentes so genanntes Foramen nutritium, einen Durchtrittspunkt für versorgende Gefässe, handeln.

Die Brusthöhle erscheint leer, einzig im Bereich des hinteren Mittelfells (Mediastinums) finden sich fragliche Reste von Geweben. Dabei dürfte es sich evt. um Reste von Brustfell und Herz(-beutel) sowie um geschrumpfte Lungen handeln. Im gesamten Brust- und auch Bauchbereich finden sich zahlreiche röntgendichte knötchenartige Strukturen von unterschiedlicher Form und Grösse. Auch dies dürften Verunreinigungen, bspw. durch kleine Steine, sein. Es zeigt sich zudem ein Hautdefekt oberhalb des Brustbeins.

Die Abdominalhöhle ist unvollständig mit z.T. spinnwebenartig erscheinenden Geweberesten gefüllt. Es könnte sich dabei um Reste der Gedärme handeln, insbesondere auch um solche des Enddarms (Rektum). Wachstumsfugen sind in der Knieregion (Oberschenkel und Schienbein) sowie in der Beckenregion (Acetabulum) und der Fussregion (Metatarsus) sichtbar.

Kein inneres oder äusseres Genitale ist erkennbar, jedoch imponiert das knöcherne Becken in seiner Form als männlich.

Proximal am rechten Schienbein findet sich ein kleiner Lochdefekt der inneren Knochenstruktur mit randständiger Verdichtung (Randsklerose). Dieser Befund entspricht am ehesten einer so genannten gutartigen Knochenzyste.

Röntgendichte Strukturen, vermutlich Verunreinigungen darstellend, finden sich auch in der rechten Ellbogenregion. Im Bereich des ersten Zwischenzehengliedergelenkes (Articulatio interphalangealis) links zeigt sich vermutlich eine leichte sog. Hammerzehenfehlstellung (Digitus malleus).

4.1.3 Altägyptischer Kopf

Die Schädelnähte sind noch sichtbar aber mehrheitlich verschlossen. In der Schädelhöhle fehlt das Gehirn, aber auch im Spinalkanal sind keine Rückenmarksubstanz, bzw. Reste davon, mehr sichtbar.

Auf dem Schädeldach hat es links parietal ein 5cm^2 grosses Loch. Zwischen den Augen, welche stark eingefallen erscheinen, hat es auf der rechten Seite, auf der Höhe des Os temporale, einen scharfkantigen 2cm^2 grossen Defekt. Die Nasenscheidewand ist mehrheitlich intakt, aber bei der Lamina cribrosa zeigt sich ein 2cm^2 grosser Defekt.

Im hinteren occipitalen Bereich zeigt sich eine 9cm breite und 1,5cm hohe helle Substanz, welche die ganze hintere Innenseite des Schädels bedeckt. Sie ist mit Rissen durchzogen und erscheint wie eine erstarrte Flüssigkeit. Auf dieser hellen Substanz liegt ein 2cm^2 grosses Knochenfragment. Im rechten Sinus maxilaris zeigt sich die gleich hell erscheinende Substanz nochmals. Diese mögliche Einbalsamierungssubstanz ist auch im hinteren Teil des Oropharynx sichtbar.

Das Gebiss ist noch komplett mit 32 Zähnen ausgestattet, nur bei den Zähnen 11 und 12 zeigen sich frontal zwei kleine Abbrüche.

Der Dens axis zeigt eine leichtgradige Verlagerung auf die linke Seite. Auf der Höhe von C3 und C4 liegen prävertebral mehrere 5mm^3 grosse stark röntgendichte Strukturen. Der gesamte Halsteil ist mit einer 3cm dicken Bandagenschicht umwickelt, die darunter liegende Haut weist mehrere 1 bis 3cm tiefe Risse auf. Unterhalb des letzten Halswirbels (C7) ist der Hals durchtrennt.

4.2 Vergleich der Schnittbilder aus den CT und MRT Datensätzen

Bei allen drei untersuchten Objekten ist bei den MRT-Bildern das SNR höher als bei den CT Bildern. Die CNR-Werte verhalten sich gerade gegenteilig, d.h. sie sind bei den CT-Daten viel höher als bei den MRT-Daten. Dies konnte erwartet werden, da auf den MRT-Bildern ein grosses Hintergrundrauschen ersichtlich ist, während die CT-Daten mit ihrer Schärfe bzw. Detailgenauigkeit überzeugen. Dank den hohen SNR-Werten bei den MRT-Bildern lassen sich signalintensive Strukturen leicht und selektiv erfassen. Dies zeigt sich beim Hund für die "Bohnen" im Abdomen und bei der signalintensiven Struktur im Maul [Abbildung 13,14]. Aber auch bei der peruanischen Mumie konnte man die signalintensiven Strukturen gut erfassen, wie zum Beispiel bei den Zwischenwirbelscheiben (Anuli fibrosi) und bei den Beckenbändern (Ligamenta inguinales) [Abbildung 15, 16, 17].

Bei dem Vergleich der „contrast to noise“-Werte haben nur 6 Punkte bei den MRT-Daten die besseren Werte als bei den CT-Daten [Abbildung 20]. Bei der peruanischen Mumie ist es auf Bild 1 der Punkt 3. Bei Bild 3 ist es der Punkt 5, der die Gehörmuschel bezeichnet. Dieser hohe CNR-Wert im Bereich der Gehörmuschel wird auf Bild 4 im Punkt 5 bestätigt. Zudem hat auch der Nasenspitzenbereich, Punkt 4, einen hohen CNR-Wert. Bei dem ägyptischen Kopf sind an zwei Punkten die CNR-Werte der MRT-Daten besser: Bei Bild 1 Punkt 2 und bei Bild 3 der Punkt 2. Beide Punkte beinhalten dieselbe Struktur im Bereich der Mundhöhle, die aber anatomisch nicht exakt definiert werden kann.

Aus dem Vergleich der „Signal zu Rauschen“ Werte von MRT-und CT-Daten lassen sich folgende Erkenntnisse ziehen [Abbildung 21]. Bei allen untersuchten Punkten in den Schnittbildern der MRT-Daten der Hundemumie ist das „Signal zu Rauschen“ höher als bei den CT-Daten. Bei der peruanischen Mumie ist nur bei Bild 8 der Punkt 8 besser im MRT. Dieser Punkt ist der signalintensive Anulus fibrosus der Wirbelsäule. Der ägyptische Kopf hat bei Bild 3 im Punkt 3, sowie bei Bild 2 im Punkt 2 die besseren SNR-Werte im MRT als im CT. Der Punkt 2 liegt mit grosser Wahrscheinlichkeit im Bereich des Kiefergelenkes. Der Punkt 3 ist im Mund bzw. im Bereich des Rachens, aber welcher anatomischen Struktur er genau zugeordnet werden muss, kann nicht eindeutig bestimmt werden.

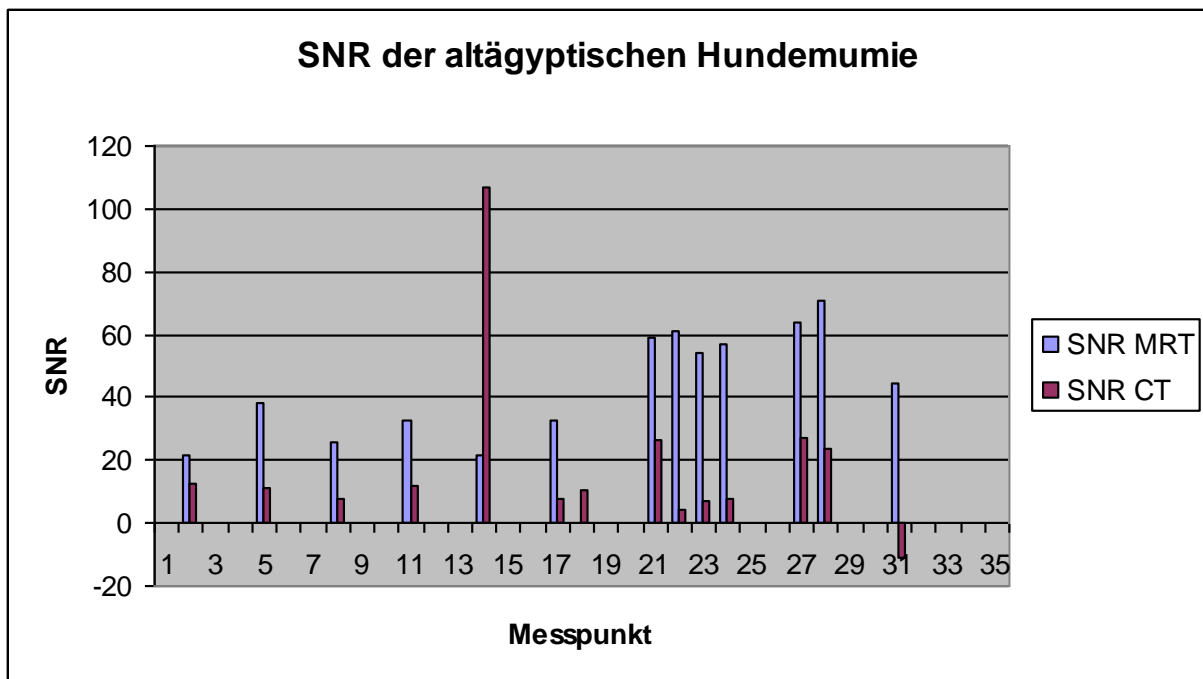


Abbildung 7: „Signal-to-noise“ (SNR)-Messungen an 14 Punkten der Hundemumie (Anhang 5.2)

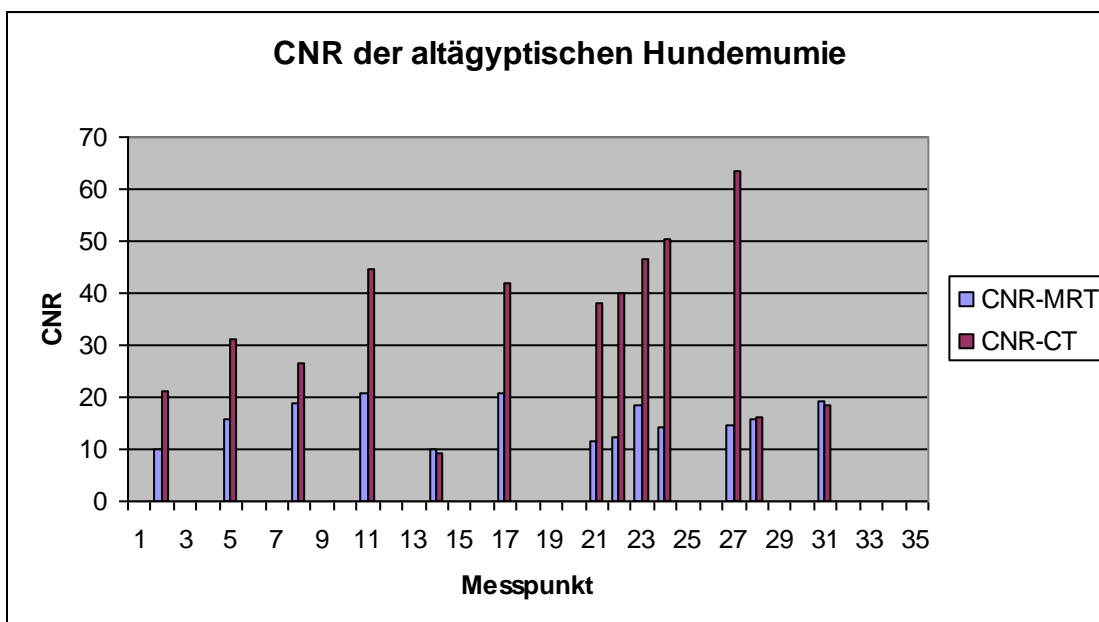


Abbildung 8: „Contrast-to-noise“ (CNR)-Messungen an 14 Punkten der Hundemumie (Anhang 5.2)

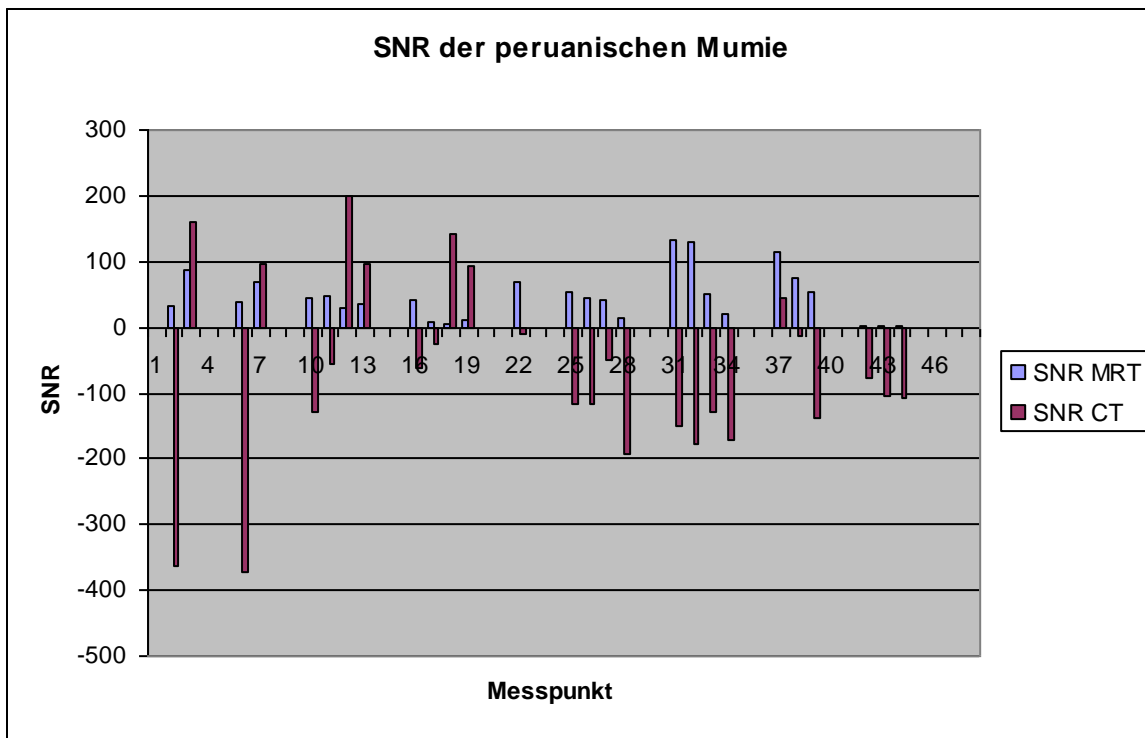


Abbildung 9: SNR-Messungen an 27 Punkten der peruanischen Mumie (Anhang 5.2)

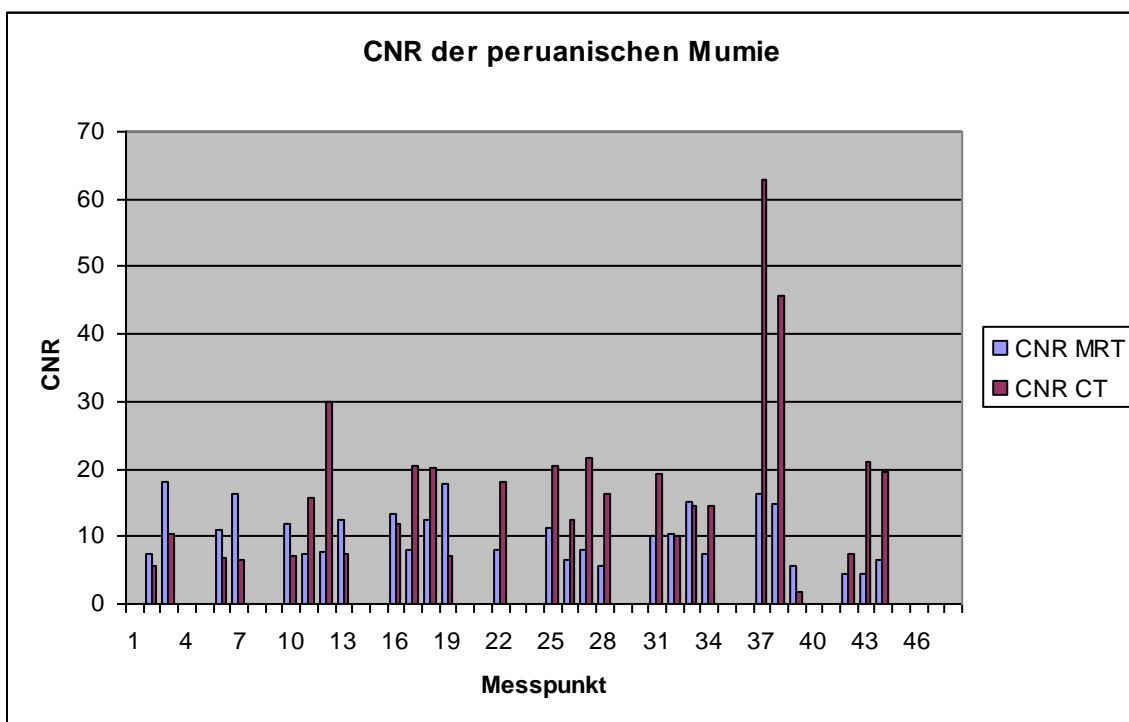


Abbildung 10: CNR-Messungen an 27 Punkten der peruanischen Mumie (Anhang 5.2)

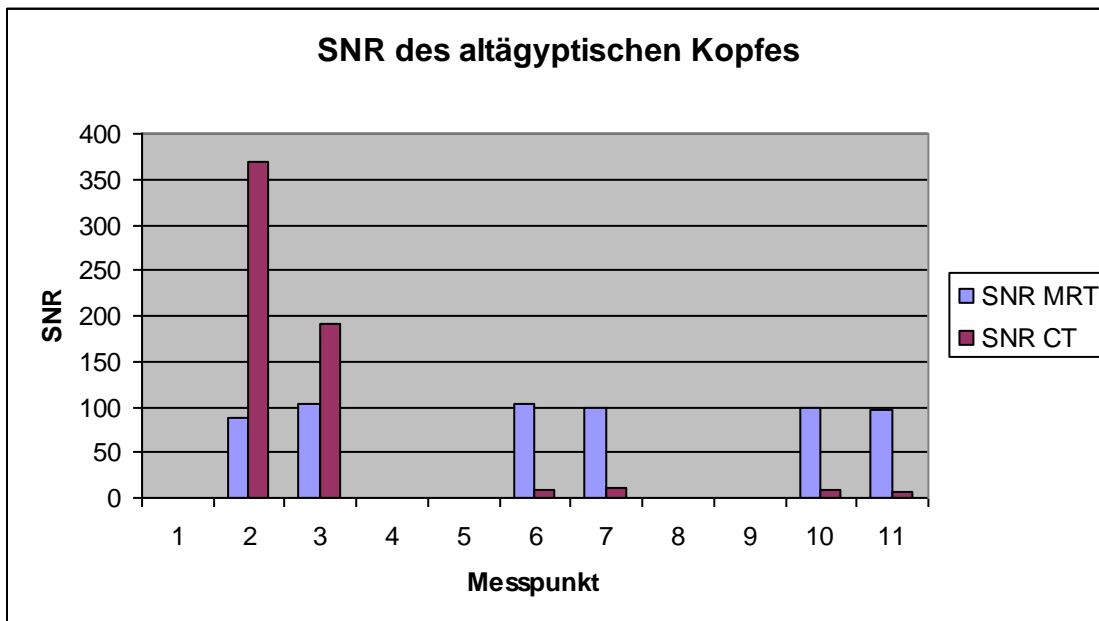


Abbildung 11: SNR-Messungen an 6 Punkten bei dem ägyptischen Kopf (Anhang 5.2)

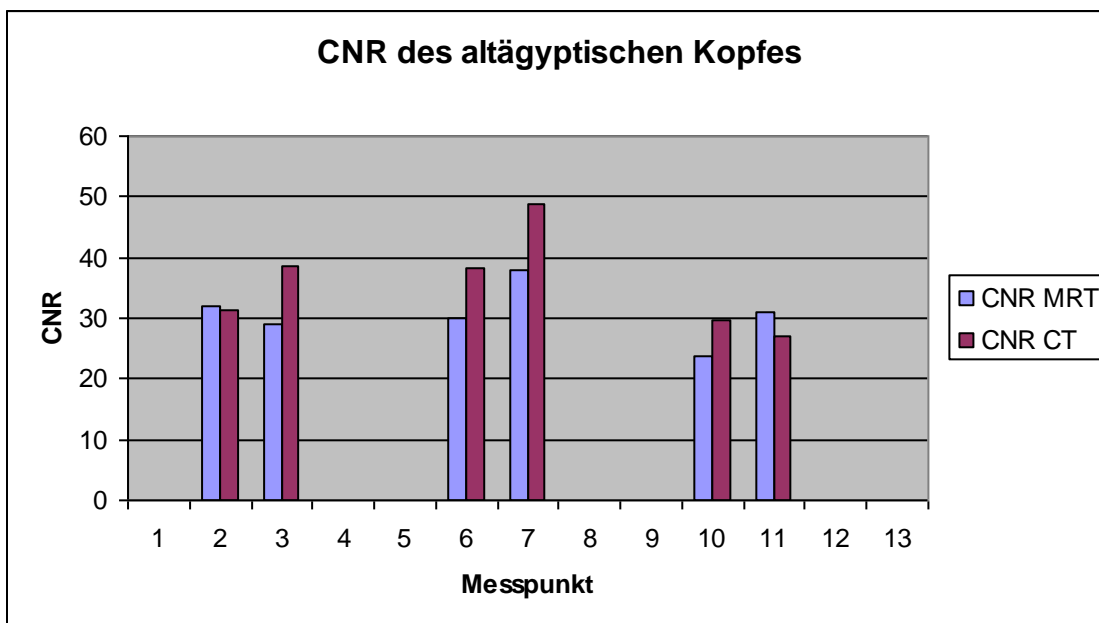


Abbildung 12: CNR Messungen an 6 Punkten bei dem ägyptischen Kopf (Anhang 5.2)

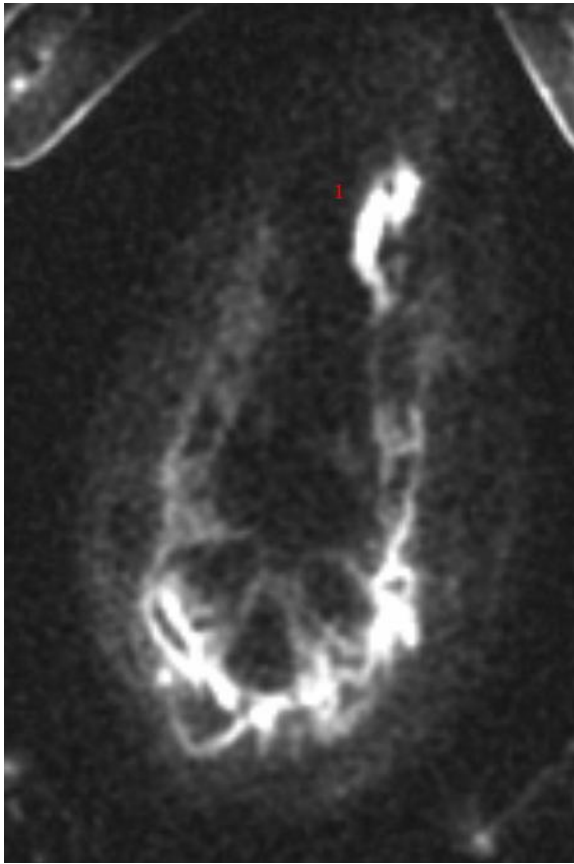


Abbildung 13: Axialer Schnitt auf Höhe C1 der altägyptischen Hundemumie im UTE-Datensatz

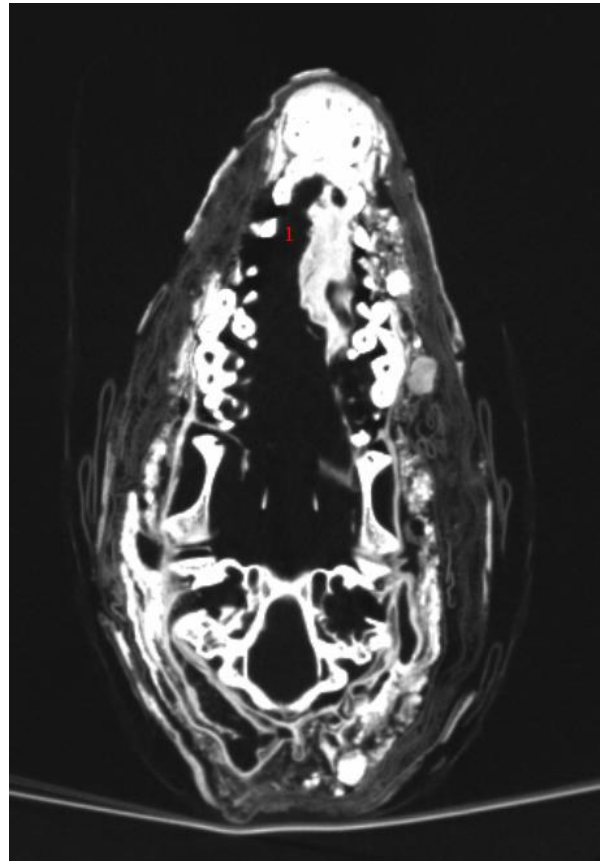


Abbildung 14: Axialer Schnitt auf Höhe C1 der altägyptischen Hundemumie im CT-Datensatz

1 = Signalintensive Struktur im Maul

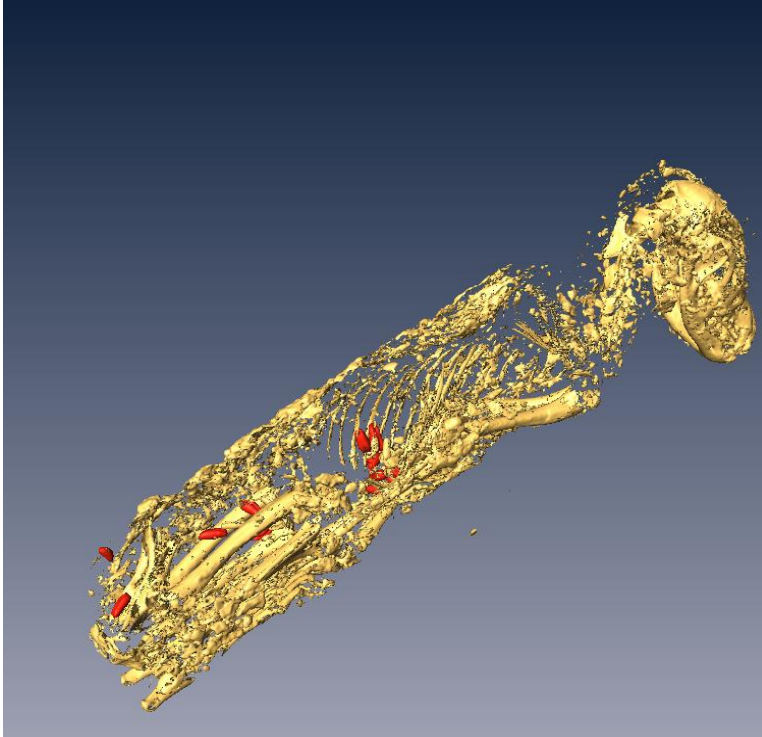


Abbildung 15: 3D-Rekonstruktion des Hundemumien skeletts basierend auf dem CT-Datensatz, sowie die 3D-Rekonstruktion der in der Mumie enthaltenen bohnenförmigen Gebilde basierend auf dem UTE-MRT-Datensatz

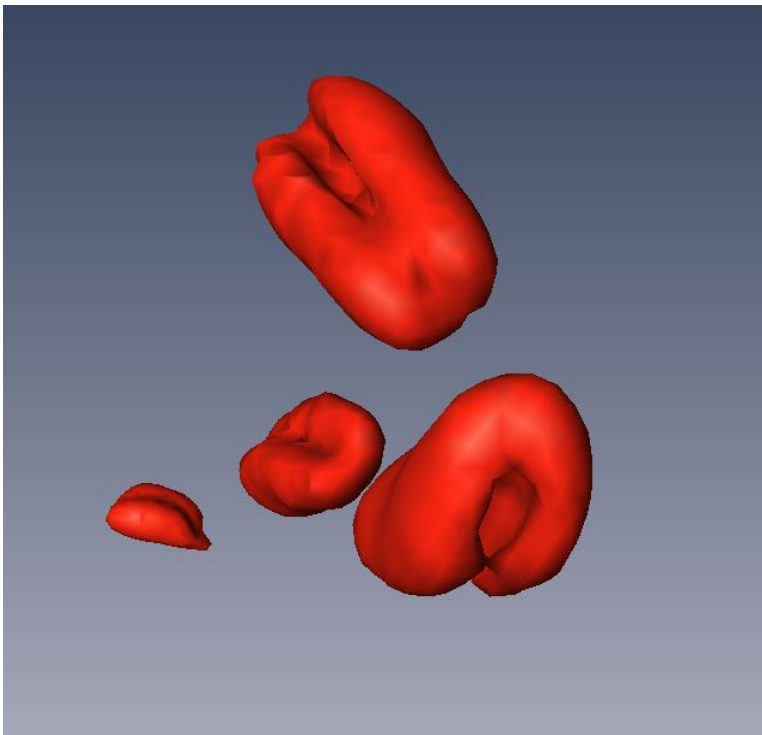


Abbildung 16: 3D-Rekonstruktion der bohnenförmigen Gebilde im Abdomen basierend auf dem UTE-MRT-Datensatz

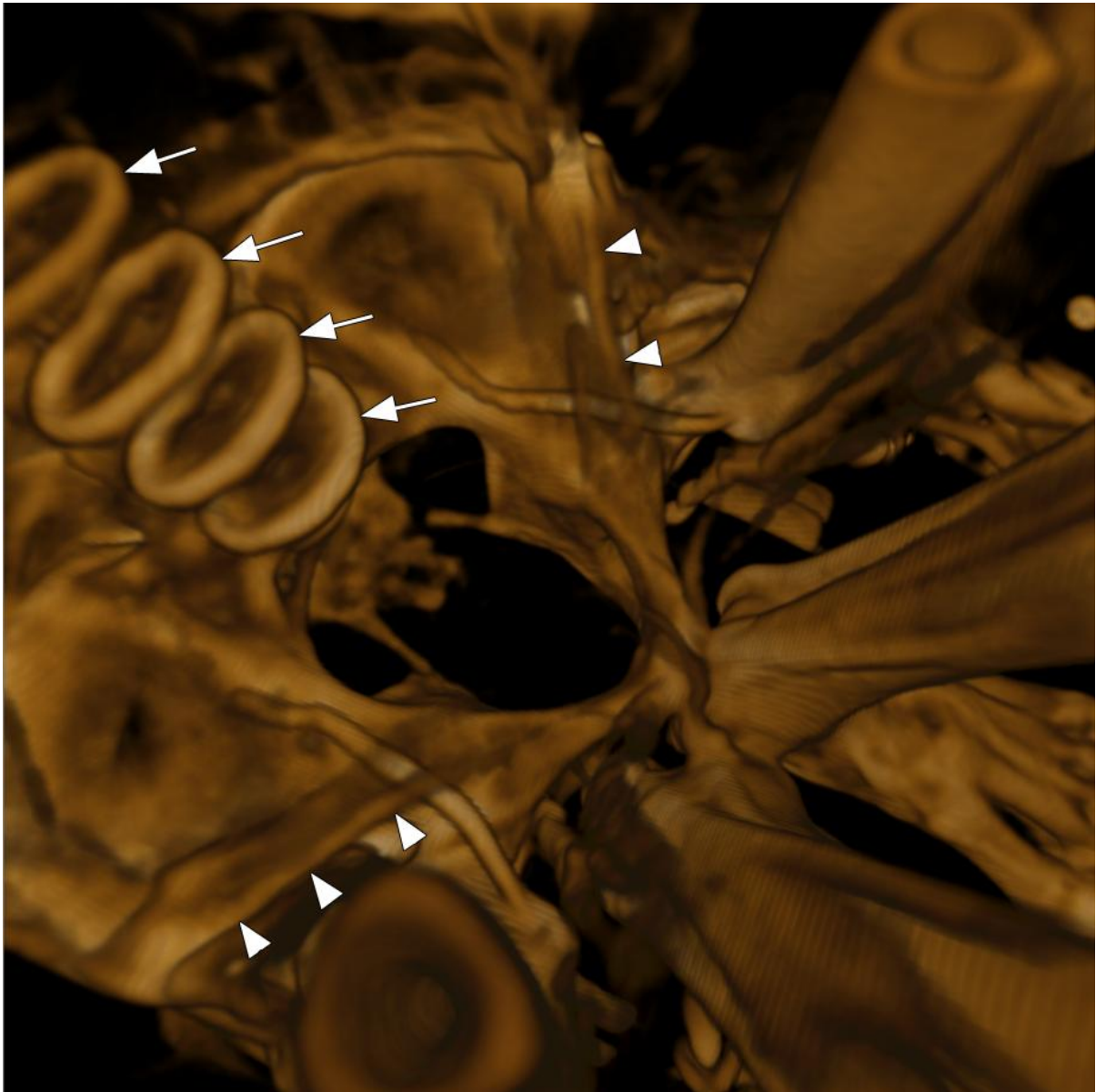


Abbildung 17: 3D-Rekonstruktion der peruanischen Mumie basierend auf dem UTE-MRT-Datensatz

Pfeil = Anuli fibrosi

Pfeilspitze = Ligamentum inguinales

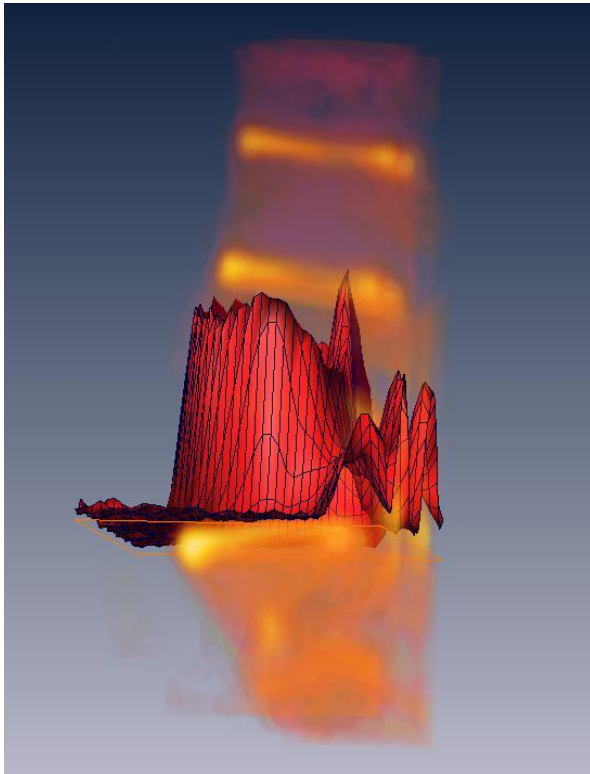


Abbildung 18: Signalintensitätsvergleich der Disci intervertebrales zu den Wirbelkörpern basierend auf dem UTE-MRT-Datensatz (hier Discus intervertebralis)

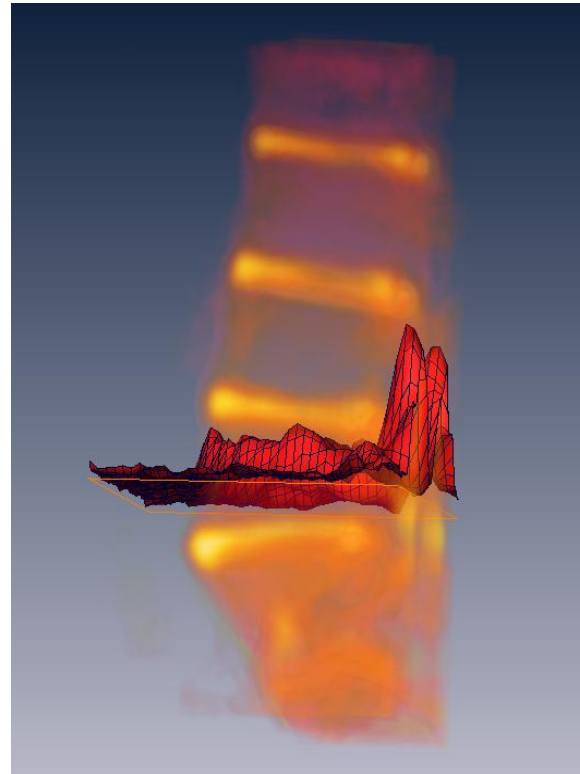


Abbildung 19: Signalintensitätsvergleich der Disci intervertebrales zu den Wirbelkörpern basierend auf dem UTE-MRT-Datensatz (hier Corpus vertebrales)

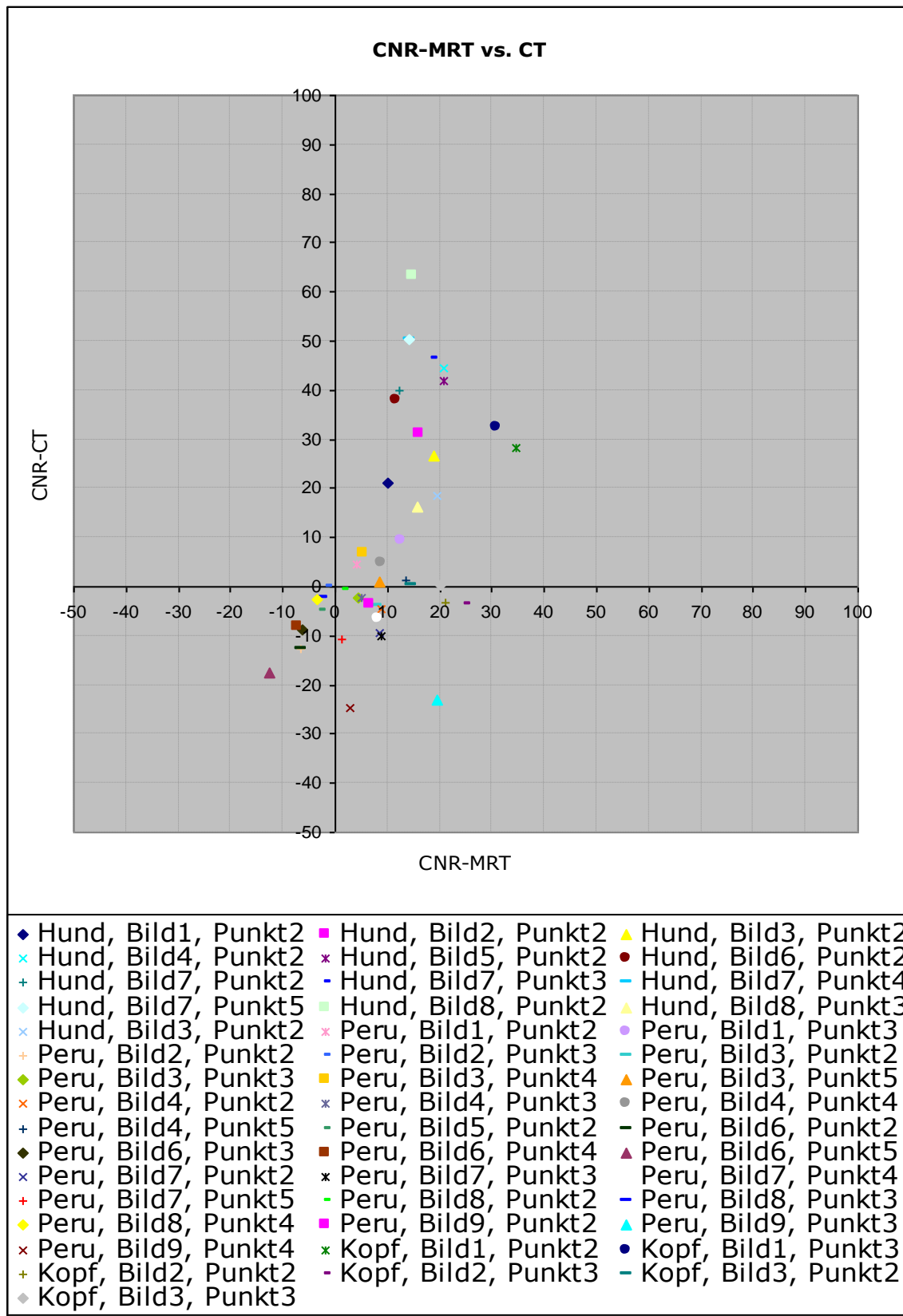


Abbildung 20: Vergleich der CNR-Werte der CT-Daten mit den MRT-Daten

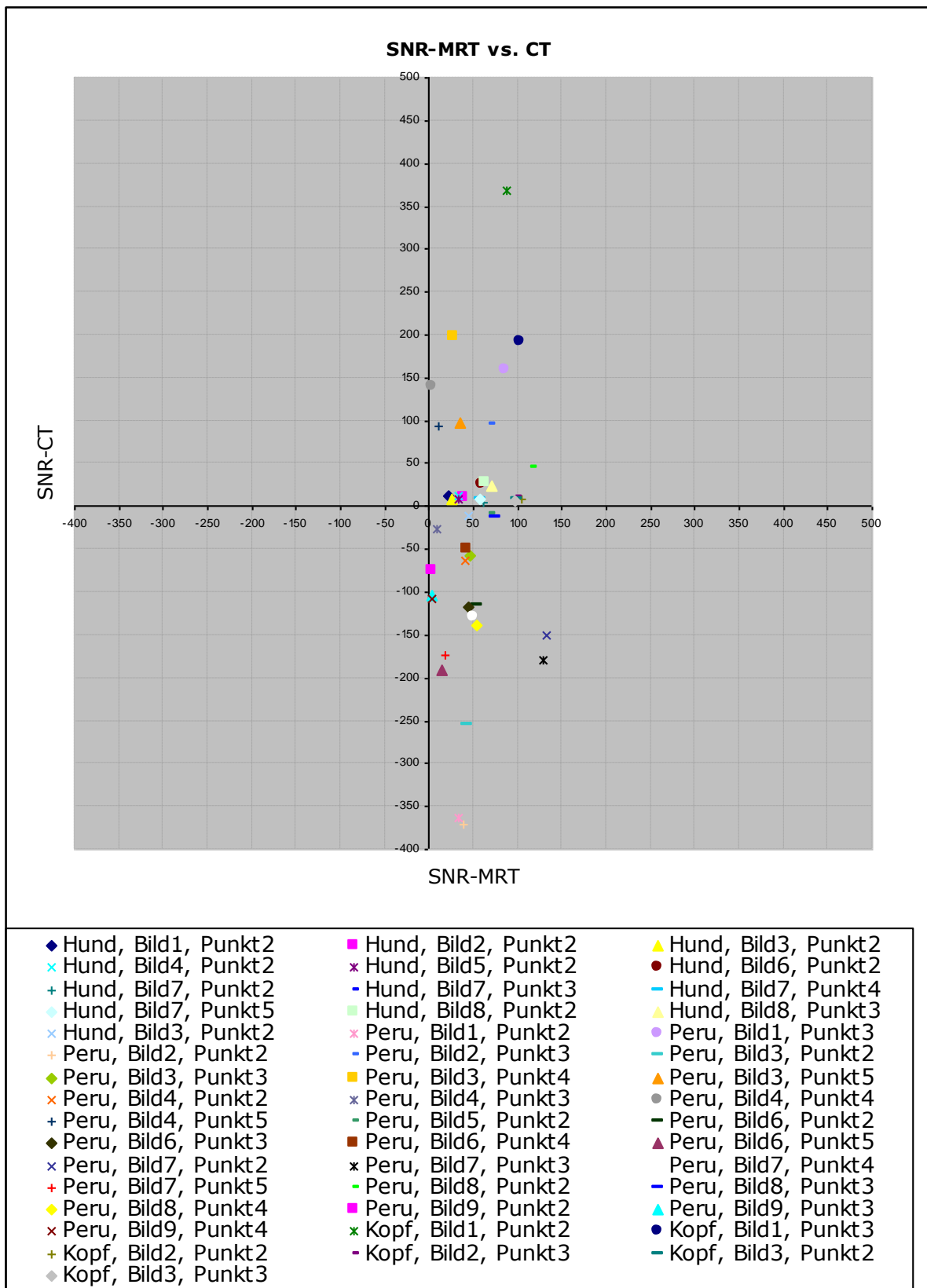


Abbildung 21: Vergleich der SNR-Werte der CT-Daten mit den MRT-Daten

4.3 NMR-Mouse-Tiefenprofile

Bei dem Tiefenprofil des ägyptischen Kopfes ist bei den Messtiefen 1.2mm und 3.6mm je ein Peak ersichtlich [Abbildungen 22, 23]. Diese beiden Peaks spiegeln mit grosser Wahrscheinlichkeit die äussere Knochenschicht der Corticalis des Schädelknochens wider (Lamina externa). Es zeigte sich, dass die Grenzflächen der Lamina externa (einerseits zum Pericranium, andererseits zur Diploe) stärkere Signale geben, als die eigentliche knöcherne Lamina externa. Der kontinuierliche Anstieg der Amplitude bis zum erst Peak spiegelt wohl das Pericranium wider. Der Abfall der Amplitude nach dem zweiten Peak muss durch die Diploe entstanden sein.

Das Tiefenprofil der „Suprascapulamessung“ zeigt keine Peaks [Abbildungen 24, 25]. Es ist ein kontinuierlicher Abfall der Signalstärke sichtbar. Dies zeigt, dass mit der Messung nur Weichteile erreicht wurden. Die einzelnen kleinen Peaks kann man nicht den verschiedenen Weichteilschichten oder Strukturen zuordnen.

Die zweite Messung an der peruanischen Mumie zeigt drei Peaks [Abbildungen 26, 27]. Der erste Peak entspricht wahrscheinlich wieder der äusseren Grenzfläche der Lamina externa der Tibia die Peaks zwei und drei, die sehr nahe zusammenliegen, dem Übergang von der Corticalis zur Spongiosa. Bei dieser Messung zeigt sich wiederum der starke Signalabfall im eigentlichen knöchernen Teil der Corticalis der Tibia.

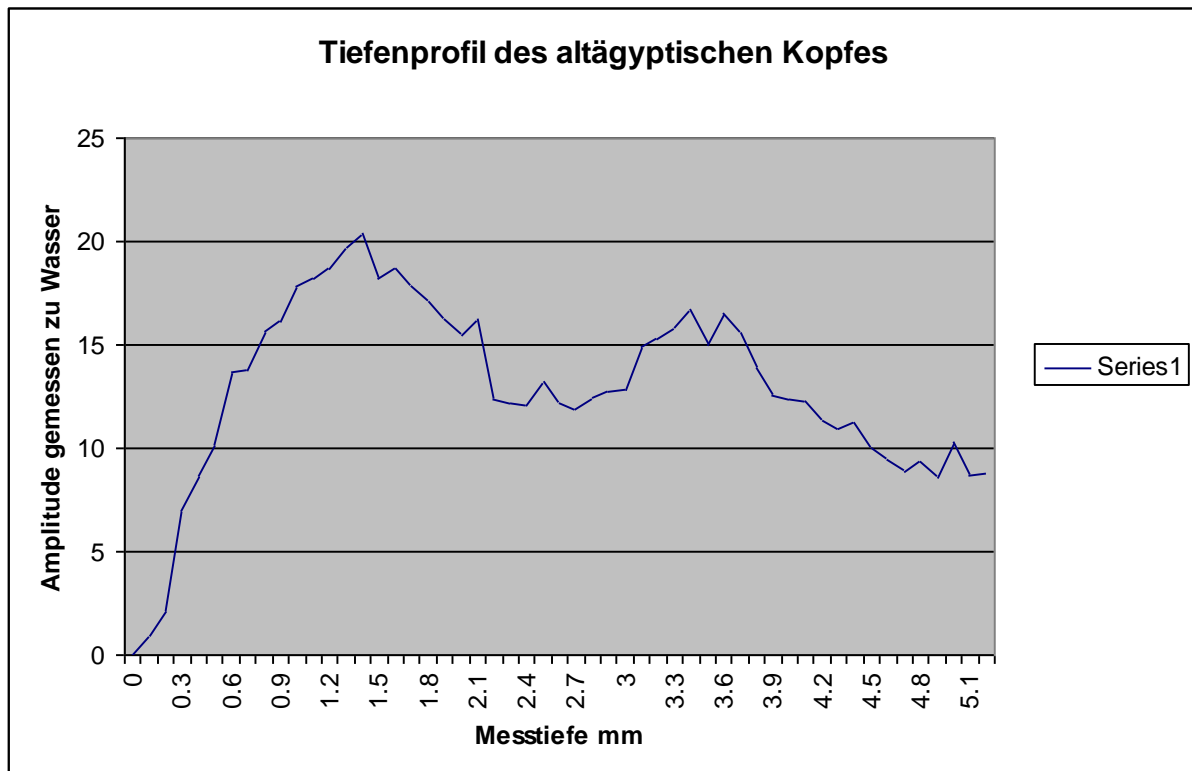


Abbildung 22: NMR-Mouse-Tiefenprofil des altägyptischen Kopfes



Abbildung 23: Altägyptischer Kopf von links lateral, Messpunkt Schädel (Kreis)

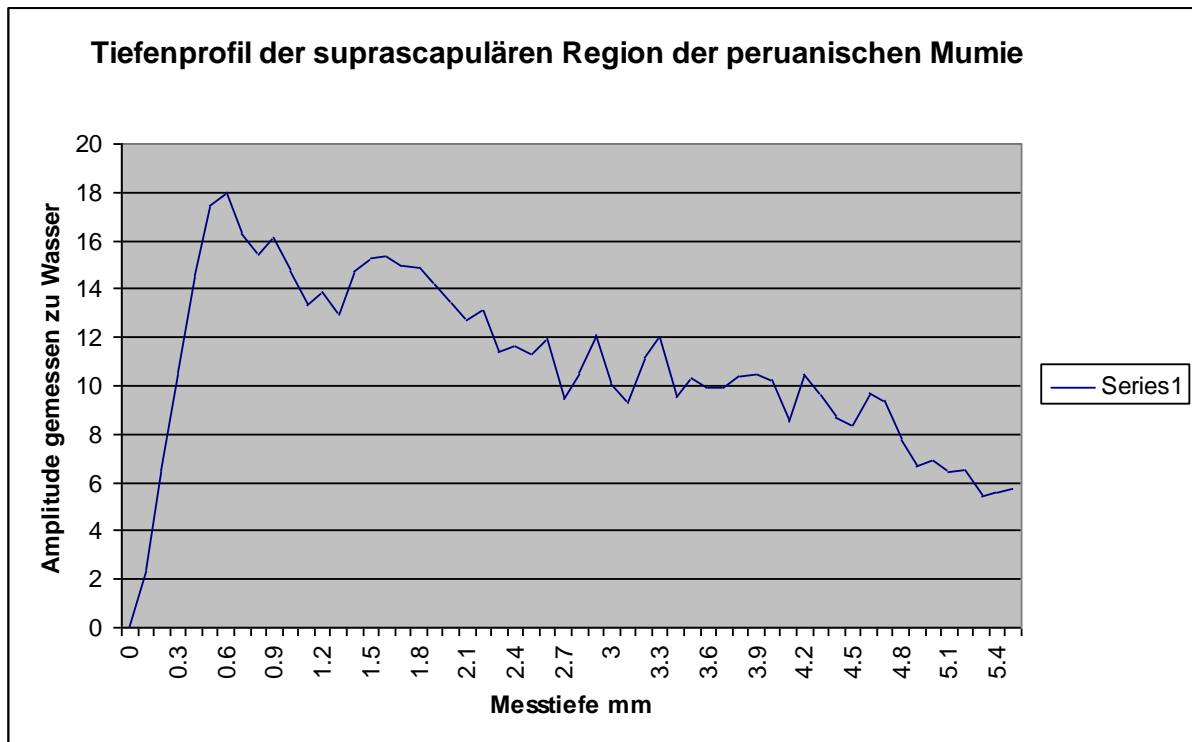


Abbildung 24: NMR-Mouse-Tiefenprofil der peruanischen Mumie, Messpunkt suprascapulär



Abbildung 25: NMR-Mouse-Messung bei der peruanischen Mumie, Messpunkt „suprascapulär“

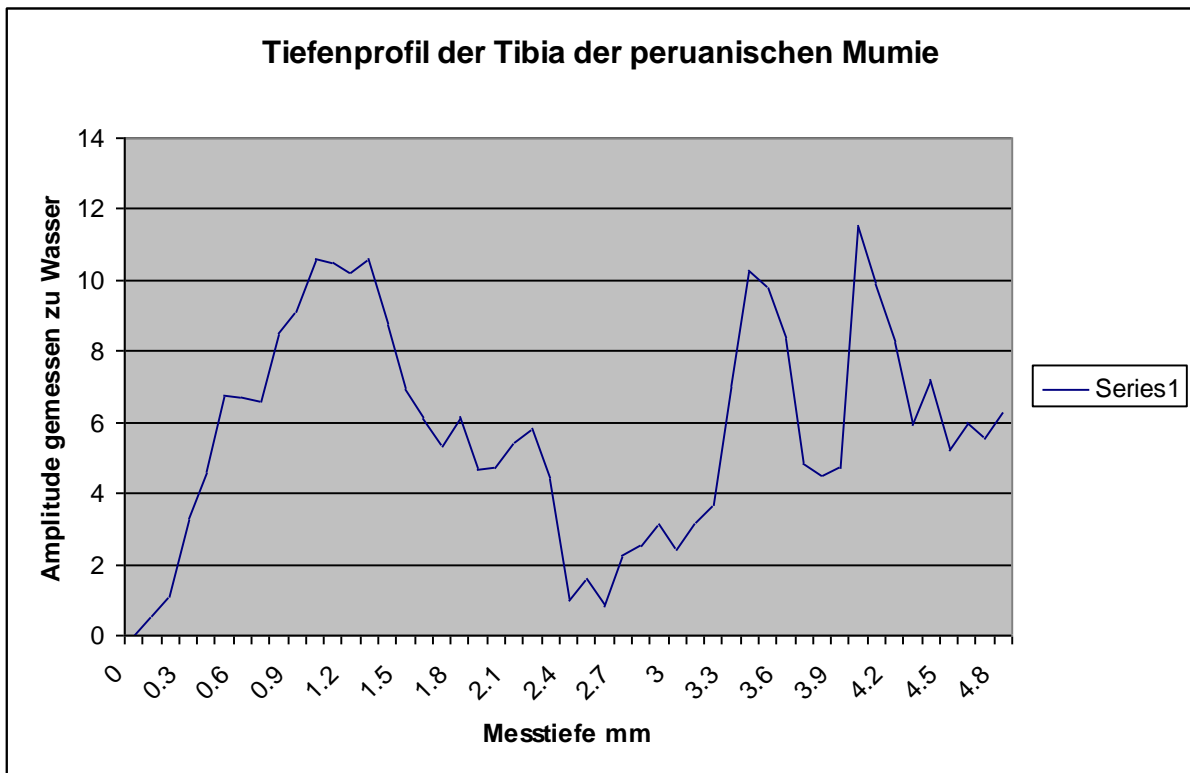


Abbildung 26: NMR-Mouse-Tiefenprofil der peruanischen Mumie, Messpunkt Vorderkante an der Tibia



Abbildung 27: NMR-Mouse-Messung bei der peruanischen Mumie, Messpunkt an der Vorderkante der Tibia

4.4 Histologie

Beide Schnitte stammen aus Proben des altägyptischen Kopfes. Abbildung 28 zeigt eine Hämatoxylin-Eosin-Färbung. Hämalan färbt alle sauren, beziehungsweise basophilen Strukturen blau, insbesondere Zellkerne mit der darin enthaltenen Desoxyribonukleinsäure (DNA). Eosin ist ein synthetischer saurer Farbstoff und färbt alle acidophilen, beziehungsweise basischen Strukturen rot, welche vor allem die Zellplasmae beinhalten. Das Bild entstand mittels einer fünffachen Vergrößerung.

Bei Abbildung 28 beträgt die Probengröße 5mm. Die Epidermis fehlt gänzlich, die Dermis (A) und die Subcutis (B) sind sehr gut erhalten. Die verschiedenen anatomischen Strukturen in der Subcutis sind gut differenzierbar. Punkte (1,2) sind Nervenfaserbündel, die quer geschnitten wurden. Das Fettgewebe zeigt sich als leere Zellen (3), da das Fett bei der Schnittherstellung herausgelöst worden ist. Mit Punkt (4) ist ein Blutgefäß gekennzeichnet. Der Durchmesser sowie die Wanddicke lassen auf eine Arteriole schliessen.

Abbildung 29 stellt eine Masson-Goldner-Trichomfärbung dar, die sich durch eine differenzierte Anfärbung der Bindegewebskomponenten auszeichnet. Das kollagene Bindegewebe zeigt sich in einem satten grün im Gegensatz zum retikulären, welches blassgrün erscheint. Muskelfasern erscheinen orange-rot. Das Zytoplasma der Fasern erscheint ziegelrot, der darin enthaltene Zellkern als schwarzbrauner Punkt. Das Bild ist mit Faktor 10 vergrößert.

Bei der mit der Pfeilspitze markierten Struktur handelt es sich sehr wahrscheinlich um Nervengewebe, welches der Länge nach geschnitten wurde. Die grosse ovale Struktur ist mit grosser Wahrscheinlichkeit eine Vene. Der Pfeil zeigt auf das Endothel der Venole.

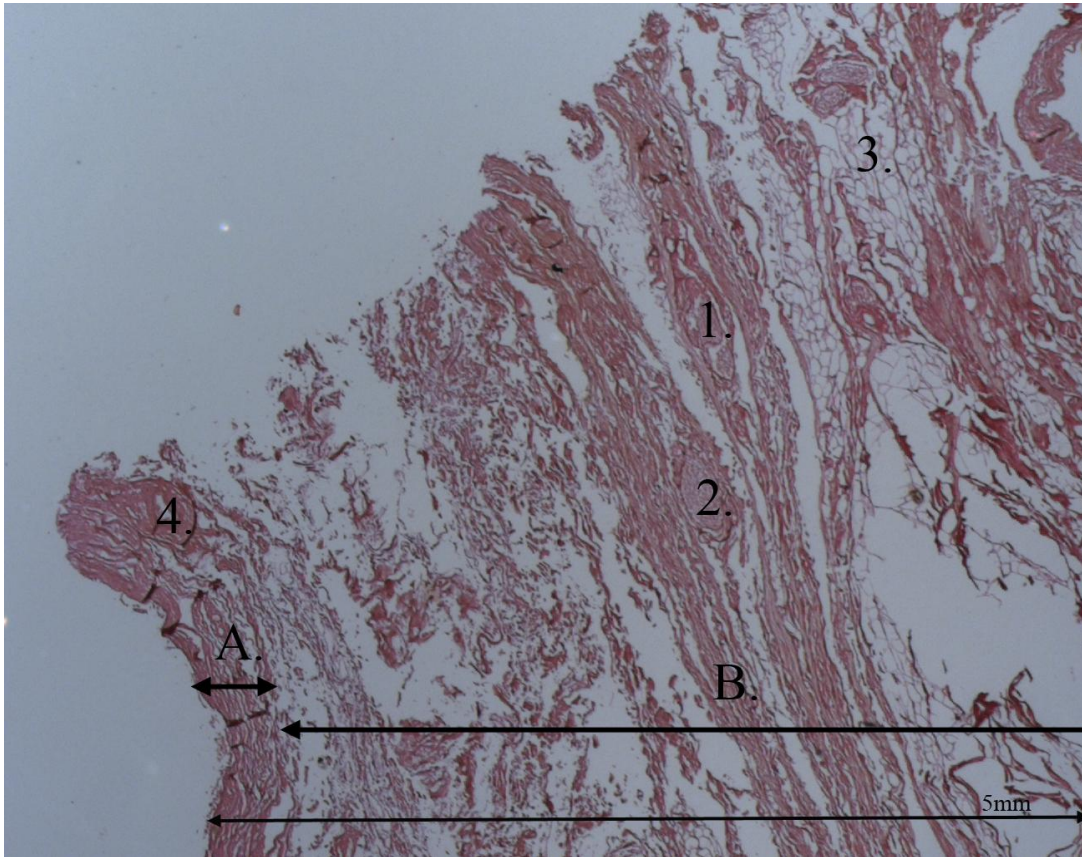


Abbildung 28: Histologisches Präparat vom altägyptischen Kopf, HE-Färbung, Region Oberlippe

1 = Nervenfaserbündel

2 = Nervenfaserbündel

3 = Fettzellen

4 = Arteriole

A= Cutis

B= Subcutis

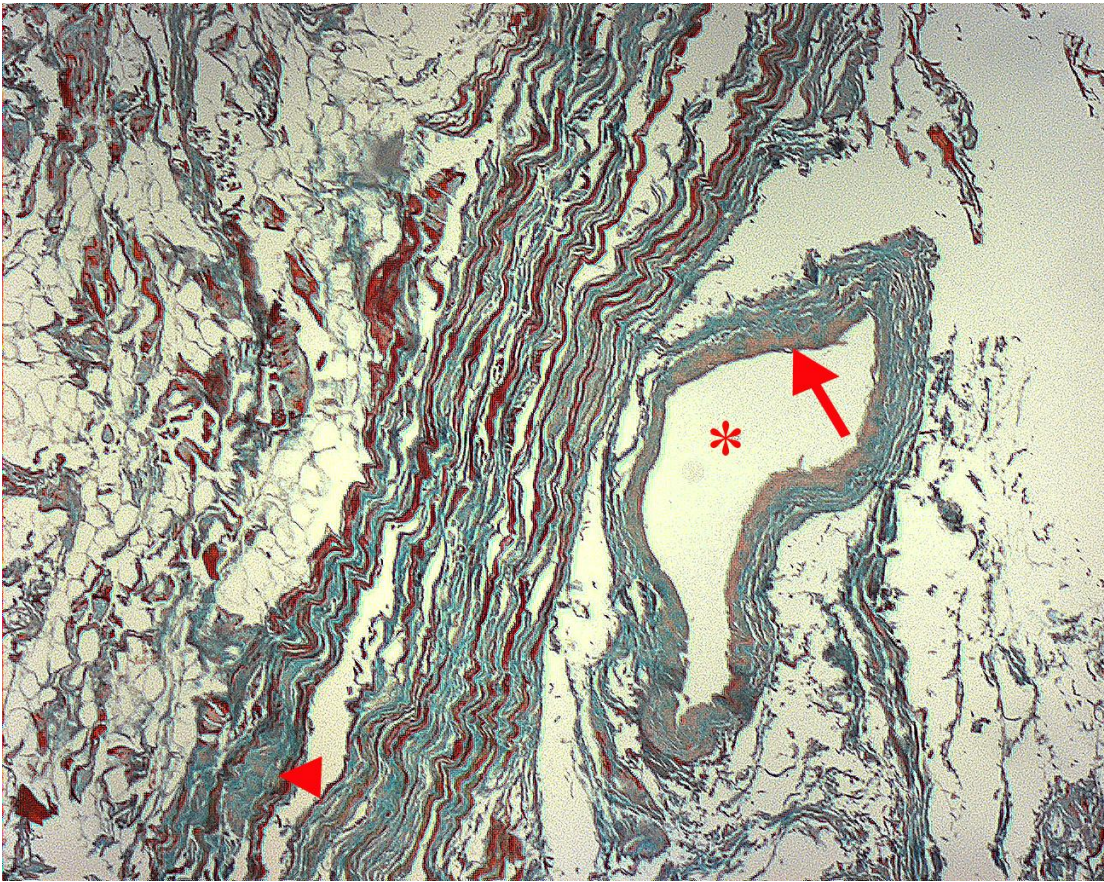


Abbildung 29: Histologisches Präparat vom altägyptischen Kopf, Masson-Goldner-Trichom, Region Oberlippe

Pfeilspitze = Nervenfasern

Stern = Vene

Pfeil = Endothel der Vene

4.5 C-14-Altersbestimmung

Bei der Hundemumie wurde nur eine Bandagenprobe genommen und diese mittels C^{14} datiert. Das C^{14} -Alter der Hundemumie ist mit grosser Wahrscheinlichkeit 145 v. Chr.

Bei der peruanischen Mumie ergab die C^{14} -Altersbestimmung mit grosser Wahrscheinlichkeit für die Gewebeprobe 1180 n. Chr. und für die zweite Probe, welche aus Gräsern bestand, 1215 n. Chr.

Der ägyptische Kopf wurde auch mittels zweier Proben datiert. Die Gewebeprobe wurde mit grosser Wahrscheinlichkeit auf 1150 v. Chr. und die Bandagenprobe auf 795 v. Chr. datiert.

5 Diskussion

5.1 Methoden

5.1.1 MRT vs. CT

Die radiologischen Untersuchungen von Mumien bilden die Grundvoraussetzung für die Erforschung beispielsweise der Mumifizierungsart [4, 62, 63]. Die ersten radiologischen Untersuchungen von Mumien fanden 1896 statt [3]. Darauf folgten viele weitere [5, 64-67]. Die CT-Analyse von Mumien löste die konventionelle radiologische Untersuchung, welche seit den siebziger Jahren durchgeführt wurde, als Goldstandard ab [12, 68-76]. Auch die 3D-Rekonstruktionen aus den CT-Datensätzen sind heute ein etabliertes Verfahren in der Mumienforschung [77-84].

Bei dem Vergleich von CT- mit MRT-Daten übertrifft die Detailgenauigkeit der CT-Daten die der MRT-Daten bei weitem. Dafür zeigen die MRT-Daten eine grössere Varianz an Signalstärke bei den verschiedenen Strukturen, sei es bei den Weichteilgeweben oder bei den unterschiedlichen Einbalsamierungssubstanzen. Die grossen Unterschiede in der Signalstärke ermöglichen eine einfachere und selektivere Erfassung der Struktur mittels Thresholdparameter als bei den CT-Daten. Die MRT-Daten führten daher zu einer neuen Sichtweise auf die Mumien. Welche Substanzen, Moleküle oder gar Atome die grossen Signalunterschiede in den verschiedenen Geweben verursachen, konnte bis dato noch nicht geklärt werden. Man kann davon ausgehen, dass die signalintensiven Strukturen eine relativ grosse Anzahl an freien Wasserstoffatomen enthalten. Die benötigte substanzielle Menge von freien Wasserstoffatomen für eine gewisse Signalstärke muss in kommenden Arbeiten erforscht werden.

Im Gegensatz zu der Untersuchung mittels CT kann diejenige mit MRT als absolut nicht invasiv bezeichnet werden, da die Magnetresonanztomographie nicht auf Röntgenstrahlen basiert. Bis dato existieren noch keine Arbeiten über den effektiven Einfluss von Röntgenstrahlen auf „ancient-DNA“. Sowohl bei der CT- sowie auch bei der MRT-Technologie existieren Einschränkungen bezüglich der Grösse der zu analysierenden Objekte. Beim MRT-Verfahren muss beispielsweise auch vorgängig (mittels CT oder konventionellem Röntgen) abgeklärt werden, ob sich magnetische Substanzen in der Mumie befinden, da diese bei der Untersuchung in ein starkes Magnetfeld gebracht werden und zu Beschädigungen und Bild-Artefakten führen können.

Die CT-Datensätze sind wesentlich einfacher zu interpretieren. Einerseits ist die Detailgenauigkeit bei den CT-Untersuchungen grösser, andererseits kann auf viel mehr

Erfahrung bei der Interpretation von CT-Daten zurückgegriffen werden. Die Bildbeurteilung bei den MRT-Daten befindet sich noch in einer experimentellen Stufe. Es existieren für dieses Verfahren bisher noch keine Standardparameter, daher sind Bilder beziehungsweise Signale momentan nur visuell vergleichbar. Zur Definition beziehungsweise zur Bestimmung solcher Grundparameter benötigt es weitere MRT-Untersuchungen an möglichst vielen Mumien unterschiedlicher Herkunft.

Dank einer verbesserten Datenlage und mehr Erfahrung bei der Untersuchung von Mumien mittels UTE, könnte man in Zukunft einen Informationsgewinn erwarten. Durch Fortschritte in der differenzierten Darstellung von Weichteilen sollte es möglich sein, unterschiedliche Gewebetypen, wie zum Beispiel Bandscheiben, bildlich differenzierter wiederzugeben. Auch eine quantitative Aussage über die verschiedenen Gewebearten dürfte möglich sein. Ein genaues Bild über die körperliche Konstitution der Mumie zu Lebzeiten kann wichtige Anhaltspunkte in Bezug auf die Todesursache oder den sozioökonomischen Status liefern. Wenn die Bildgenauigkeit weiter steigen sollte, wird es in Zukunft vielleicht sogar möglich sein, dünne Strukturen, wie Tätowierungen, virtuell zu rekonstruieren.

Die verschiedenen Mumifizierungsarten haben unterschiedliche Einflüsse auf die Gewebe. Ein Ziel sollte sein, diese Unterschiede mittels UTE-Bildgebung zu erfassen und durch einen Datenvergleich Rückschluss auf die Mumifizierungsart zu ermöglichen, ohne die bisher üblichen invasiven Gewebeprobeanalysen heranziehen zu müssen. Das Wissen um die Mumifizierungsart ermöglicht letztendlich eine leichtere geographische und zeitliche Einordnung der Mumie.

Die UTE-Bildgebung ist sehr sensitiv bei der Lokalisation von Flüssigkeitsresten in Mumien. Dank der räumlichen Lokalisation der Flüssigkeitsreste in Mumien ist eine viel exaktere Probenentnahme möglich. Diese Proben erlauben wiederum einen Rückschluss auf die verwendeten Mumifizierungsreagenzien und sind somit ein wichtiger Bestandteil in der Mumienforschung. Die hohe Sensitivität ermöglichte beispielsweise in der vorliegenden Arbeit das räumliche Darstellen der bohnenförmigen Gebilde im Abdomen der Hundemumie. Es bleibt allerdings offen, woraus diese bohnenartigen Strukturen bestehen. Die Vermutung, dass es sich um Mumifizierungsmaterial handelt liegt nahe, aber eine schlüssige Antwort könnte nur eine Probeentnahme geben. Diese war jedoch bei dieser altägyptischen Hundemumie nicht möglich.

Für eine systematische Analyse von Mumien mittels UTE sind noch viele weitere Untersuchungen nötig. Es müssen Standardwerte für die UTE-MRT-Einstellungen gefunden werden. Um solche Basisdaten zu definieren, ist es zwingend notwendig die betreffenden Mumien beziehungsweise Mumienteile einer räumlichen Orientierung zu unterziehen. Ein

solches Vorgehen würde es erlauben, nicht nur einen optischen Vergleich der Bilddaten, sondern auch eine mathematische Auswertung der Signalstärken in einem räumlich definierten Punkt zu berechnen. Der statistische Aussagewert ist bei einem solchen Versuchsaufbau wesentlich genauer und grösser. Ein solches Verfahren, kombiniert mit einer Probenentnahme an der zu untersuchenden Stelle und deren chemischer Analyse, müsste Datenmengen liefern, die eine standardisierte Untersuchung von Mumien mittels UTE-MRI ermöglichen. Eine räumliche Orientierung wurde in dieser Arbeit nicht gemacht, somit war es nur möglich die Bilder optisch und auf visuell festgelegte Bereiche mathematisch zu vergleichen. Ein solcher Versuchsaufbau genügt selbstverständlich nicht um Standardwerte zu definieren, dies war aber auch nicht das initiale Ziel dieser Arbeit.

Vor- und Nachteile bei der Untersuchung von historischen Mumien mittels UTE-MRI ohne vorgängige Rehydrierung	
+	Nicht invasive Untersuchungsart
+	Einfache Erfassung von signalintensiven Strukturen mittels Treshholdparameter
+	Einfache räumliche Ortung von wasserstoffreichen Substanzen
+	Grösse der Signalunterschiede
-	Schwierige Interpretation der Bilder
-	Geringe Bildauflösung
-	Lange Messdauer
-	Keine Stadardparameter

5.1.2 Die NMR-MOUSE

Die Vorteile der NMR-MOUSE sind die kleine Grösse, die einfache Handhabung und dass sie als nicht invasiv einzustufen ist [50-54]. Diese Eigenschaften der NMR-MOUSE ermöglichen eine Untersuchung von Mumien vor Ort. Dies ist bei der Mumienforschung ein entscheidender Vorteil, denn ein Mumientransport ist nur mit grossem Aufwand möglich und all zu oft werden die Mumien dabei beschädigt oder zumindest in Mitleidenschaft gezogen. Die kleine Grösse der NMR-MOUSE ermöglicht zudem das Messen der Gewebeschichten an anatomisch schlecht zugänglichen Orten, wie zum Beispiel der Schenkelinnenseite. Die grosse Einschränkung bei der NMR-MOUSE ist die maximale Messtiefe von 5 mm. Es ist somit nur möglich die obersten Schichten einer Mumie zu untersuchen. Bei Mumien, die noch komplett bandagiert sind, ist eine Messung mit der NMR-MOUSE als nicht sehr sinnvoll zu betrachten. Aber bei Mumien, die nicht mehr oder nur noch teilweise bandagiert sind, ist die

NMR-MOUSE eine gute Methode, um die obersten Gewebeschichten zu untersuchen. Die Zuordnung der Signalpeaks zu den unterschiedlichen Gewebeformen ist aktuell noch nicht eindeutig möglich: es fehlen die Standardwerte. Es sollte daher ein Ziel sein, in den künftigen Arbeiten eine ausreichende Menge an Mumien zu untersuchen und somit die verschiedenen Gewebepeaks eindeutig einer Gewebeart zuzuordnen. Erst dann wäre die NMR-MOUSE eine gute Alternative zur Histologie. Die histologische Zuordnung wurde in dieser Arbeit versucht, jedoch konnte man die Peaks durch das starke Aufquellen der Proben bei der Rehydrierung keiner Gewebeschicht oder Gewebestruktur eindeutig zuordnen. Es wäre nötig bei den Proben die Schnittebenen, ohne Rehydrierung, mit optischen Mitteln hochauflösend darzustellen, um sie so mit den verschiedenen Peaks zu vergleichen. Ein interessanter Ansatz wäre die Erhöhung der Messtiefe. Dies böte dem Forscher die Möglichkeit der Untersuchung der Mumie nach Tätowierungen oder pathologischen Veränderungen durch die Bandagen hindurch in situ. Auch die Beantwortung der interessanten Frage nach der unterschiedlichen Verteilung der Gewebetypen (Fett, Muskeln, Bindegewebe) wäre dank der NMR-MOUSE möglich. In den zukünftigen Arbeiten muss ferner darauf geachtet werden, dass ein systematischer Vergleich der NMR-MOUSE und der Histologie an mehreren Gewebeproben besser möglich ist.

5.1.3 Histologie

Die Histologie ist in der Mumienforschung eine etablierte Untersuchungsmethode, auch wenn man sie als invasiv bezeichnen muss. Die Präparate weisen eine hohe technische Qualität auf und man kann die verschiedenen Gewebe gut erkennen. Die Interpretation der verschiedenen Gewebestrukturen beziehungsweise deren genaue Identifizierung, ist nicht eindeutig zu realisieren, da durch das Rehydrieren und das daraus resultierende Aufquellen das typische Erscheinungsbild der verschiedenen Gewebestrukturen stark verändert wird. Aufgrund der Invasivität der Histologie und der schwierig zu interpretierenden Bilder, sollte man nur bei eindeutig zu erwartender Identifikation und bei grosser Wahrscheinlichkeit auf brauchbare Resultate die histologische Untersuchung in Betracht ziehen.

5.1.4 Forschungsansätze für die Zukunft

Museen auf der ganzen Welt sind im Besitz von Mumien aus den unterschiedlichsten Epochen. Mumien sind jedoch generell sehr schlecht transportabel. Somit finden die Untersuchungen der Mumien meist im nächstgelegenen Spital statt. Es müsste daher ein Ziel der Mumienforschung sein, eine weitreichende Datenbank zu etablieren. Auf dieser Datenbank könnten alle Mumienforscher ihre Rohdaten der Mumienuntersuchungen speichern und somit anderen Forschern zugänglich machen. Der Mehrwert einer solchen

Datenbank liegt nicht nur im besseren Datenaustausch beziehungsweise Datenvergleich, sondern auch darin, dass die Mumien beispielsweise nur einmal gescannt werden müssten.

Ein interessanter Ansatz für die zukünftige Mumienforschung mit neuen Messmethoden wäre, eine künstliche Mumifizierung nach altägyptischen Methoden und gleichzeitige periodische Untersuchungen mit CT, MRI, UTE-MRI, Ultraschall, NMR-MOUSE, Histologie und Gewebeprobenanalysen durchzuführen. Ein solch aufwändiges und experimentelles Projekt könnte einen grossen Informationsgewinn beinhalten und der Mumienforschung völlig neue Wege öffnen.

6 Anhang

6.1 Messpunkte für SNR- und CNR-Bestimmung bei CT- und MRT-Daten

Altägyptische Hundemumie

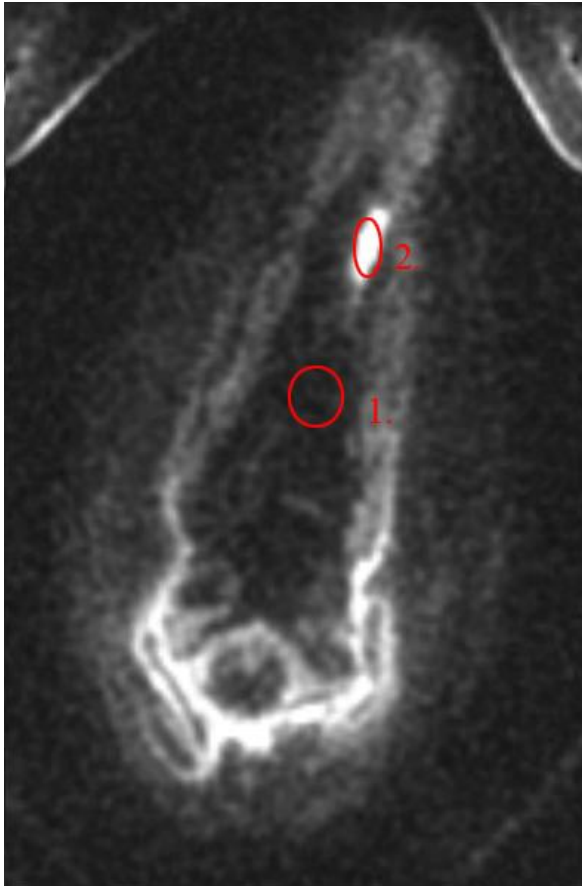


Abbildung 30: Hund, Bild 1, MRT

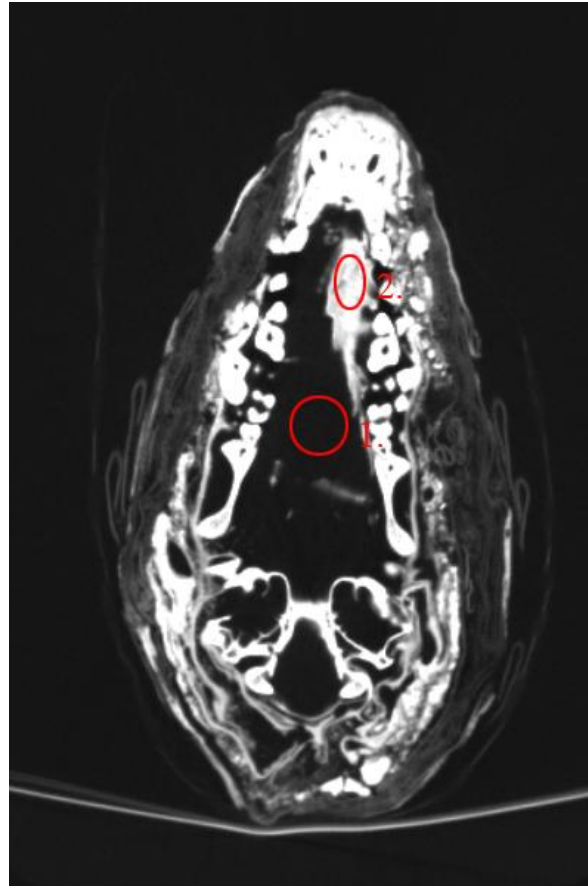


Abbildung 31: Hund, Bild 1, CT

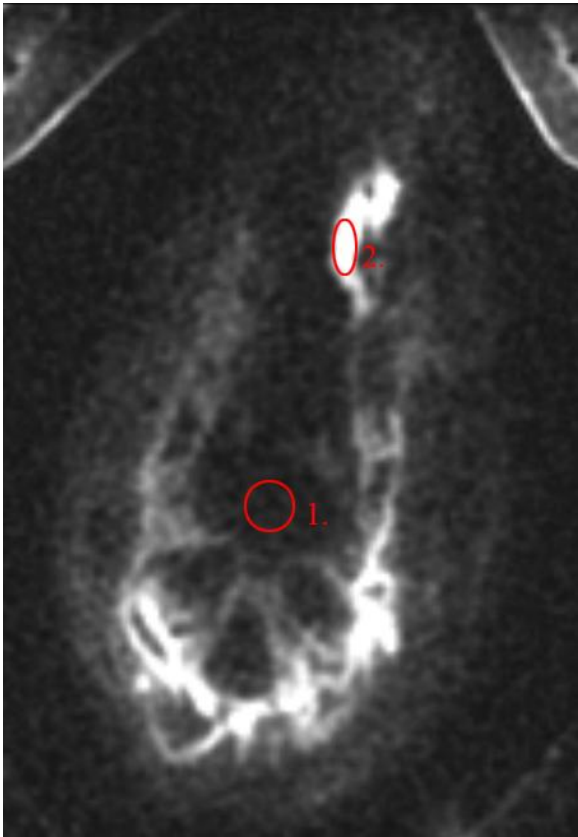


Abbildung 32: Hund, Bild 2, MRT

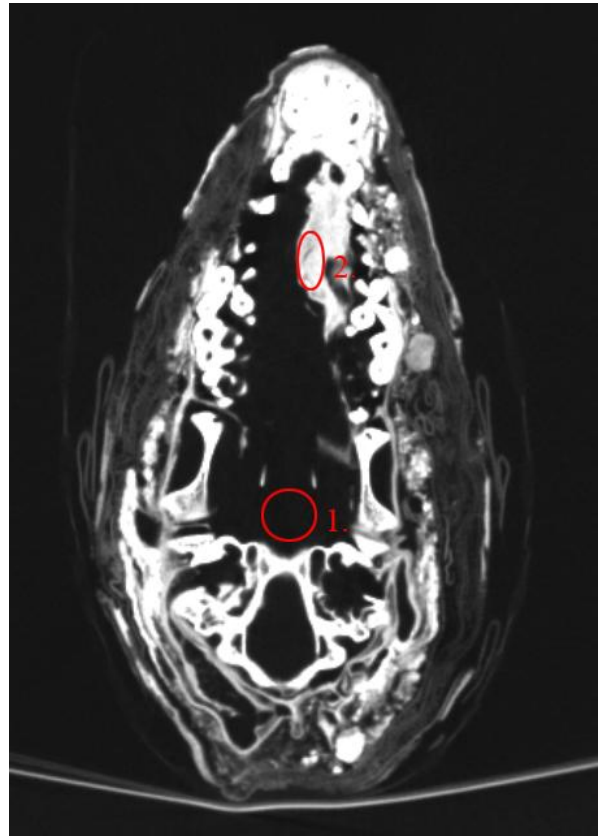


Abbildung 33: Hund, Bild 2, CT

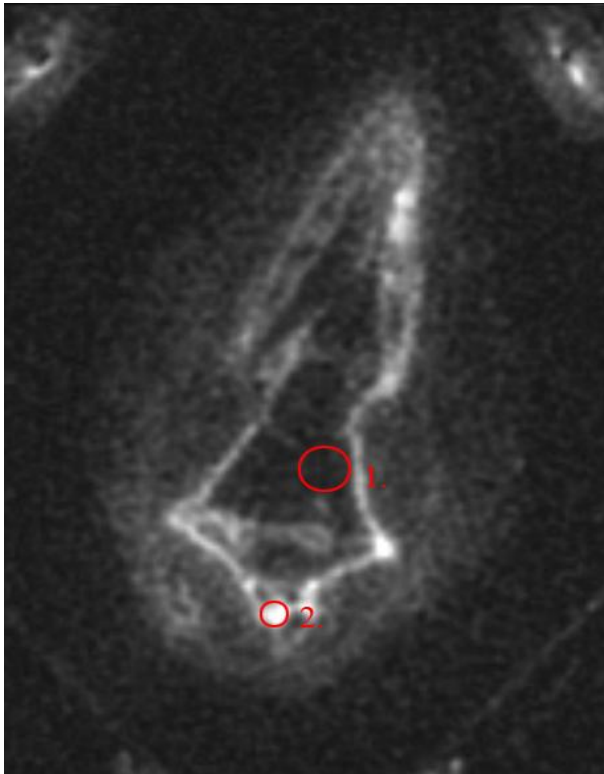


Abbildung 34: Hund, Bild 3, MRT

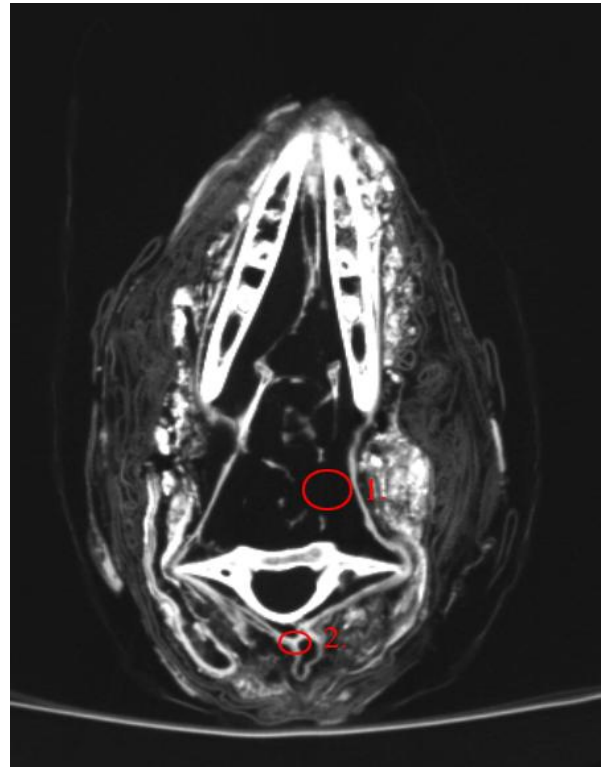


Abbildung 35: Hund, Bild 3, CT

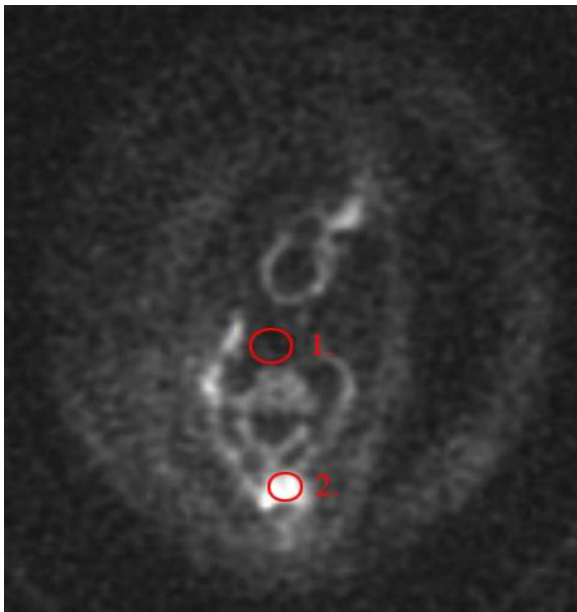


Abbildung 36: Hund, Bild 4, MRT

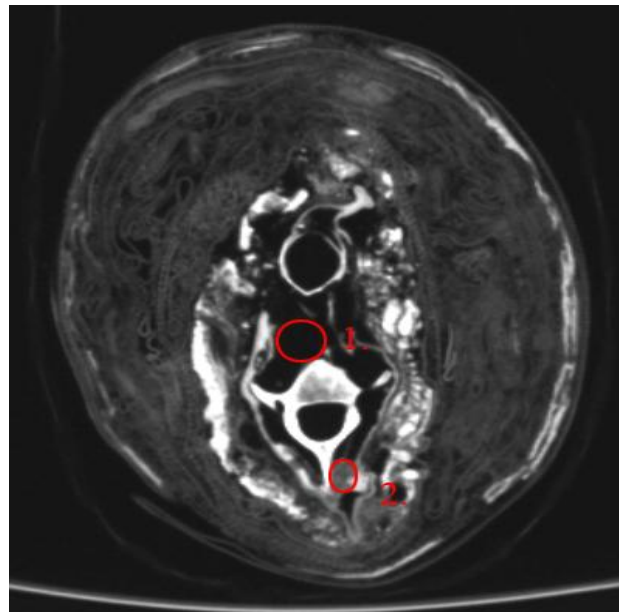


Abbildung 37: Hund, Bild 4, CT

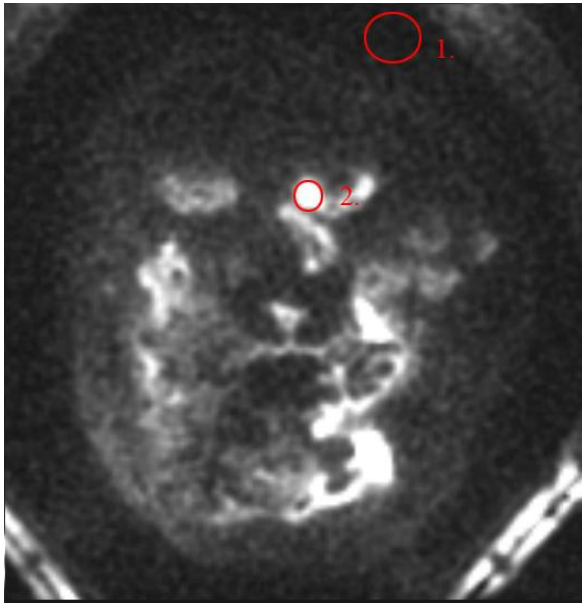


Abbildung 38: Hund, Bild 5, MRT

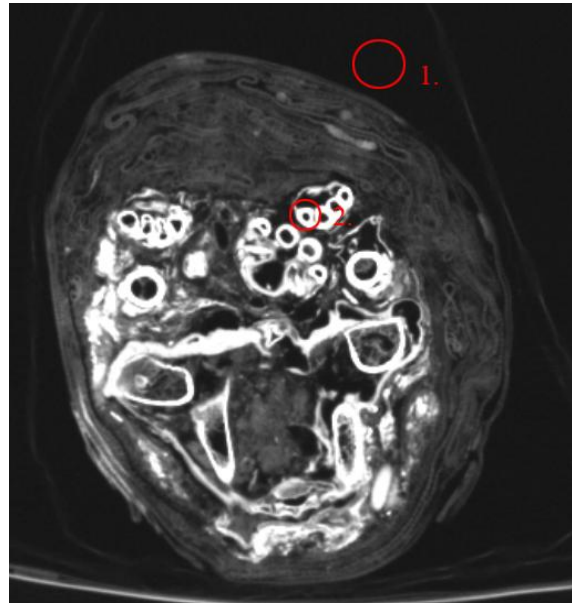


Abbildung 39: Hund, Bild 5, CT

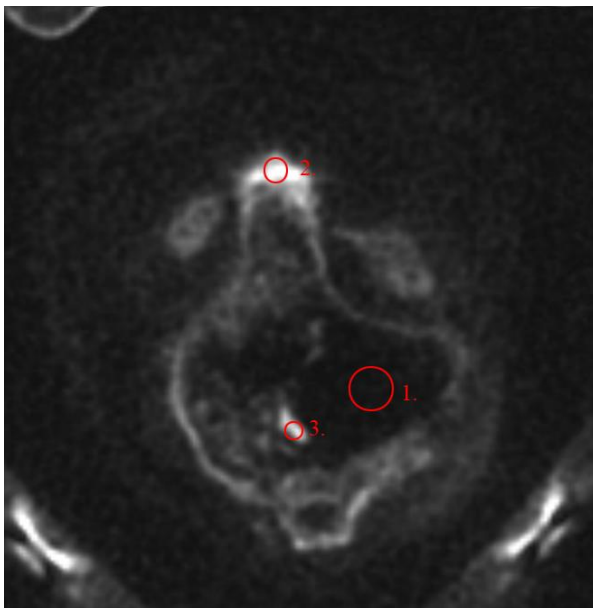


Abbildung 40: Hund, Bild 6, MRT

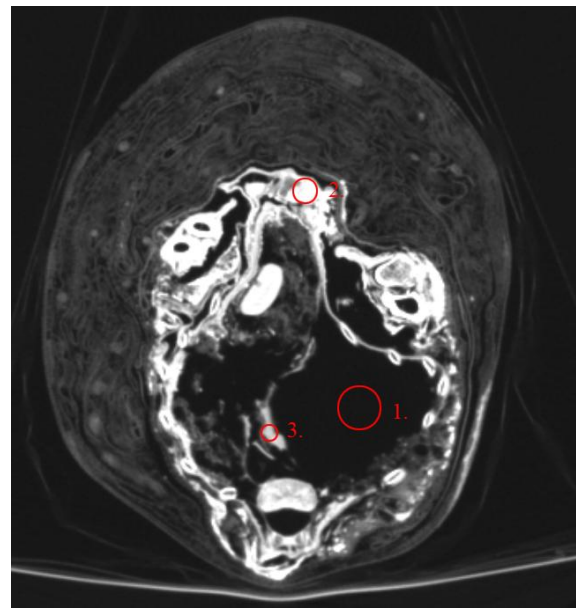


Abbildung 41: Hund, Bild 6, CT

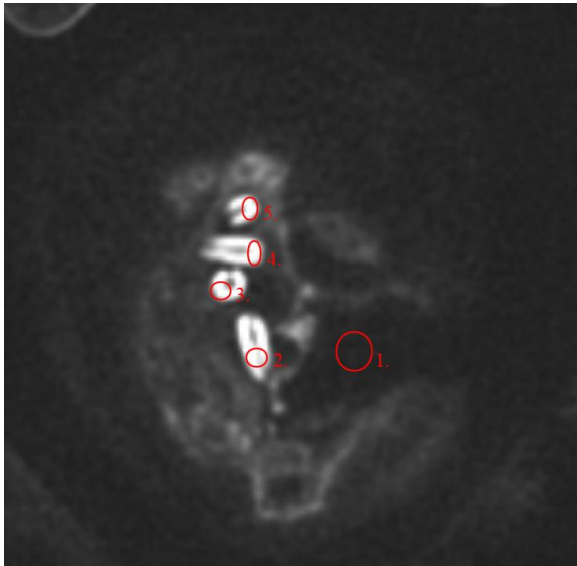


Abbildung 42: Hund, Bild 7, MRT

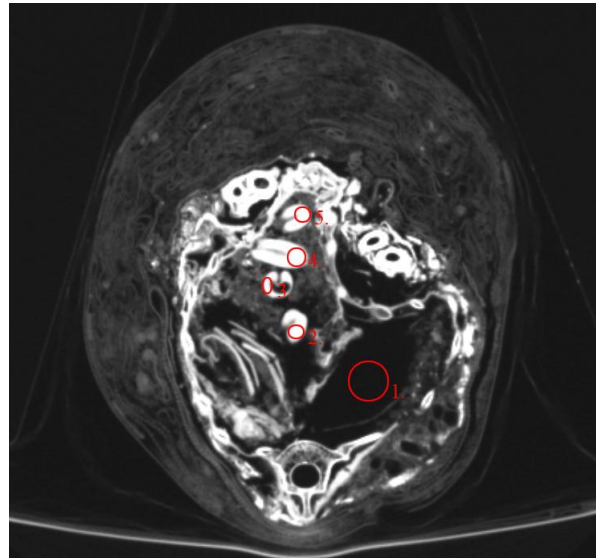


Abbildung 43: Hund, Bild 7, CT

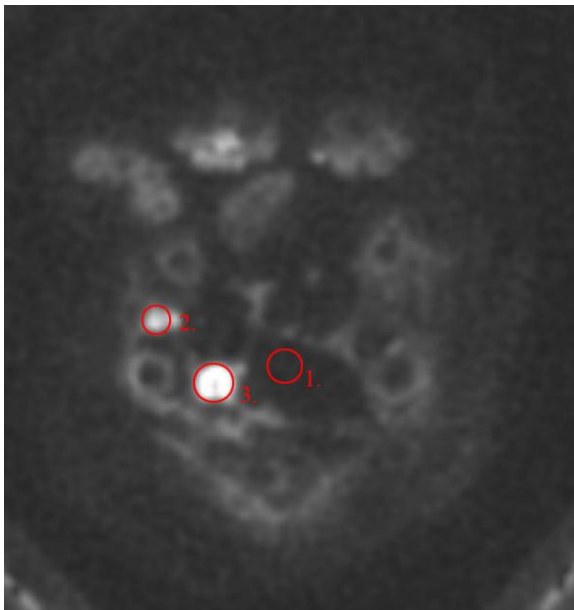


Abbildung 44: Hund, Bild 8, MRT

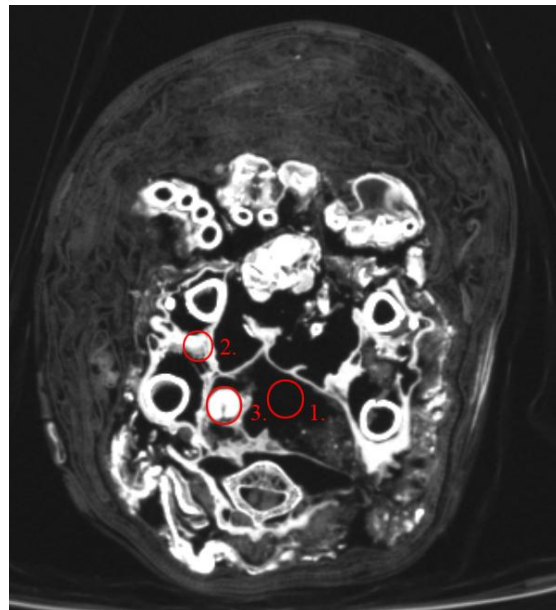


Abbildung 45: Hund, Bild 8, CT

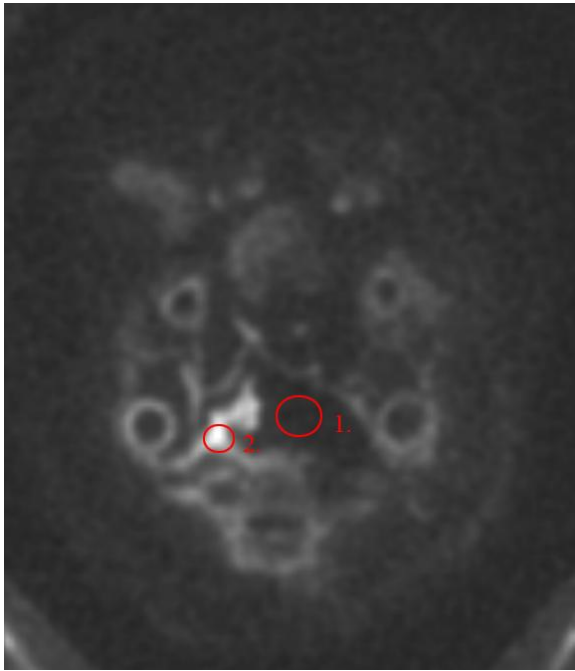


Abbildung 46: Hund, Bild 9, MRT

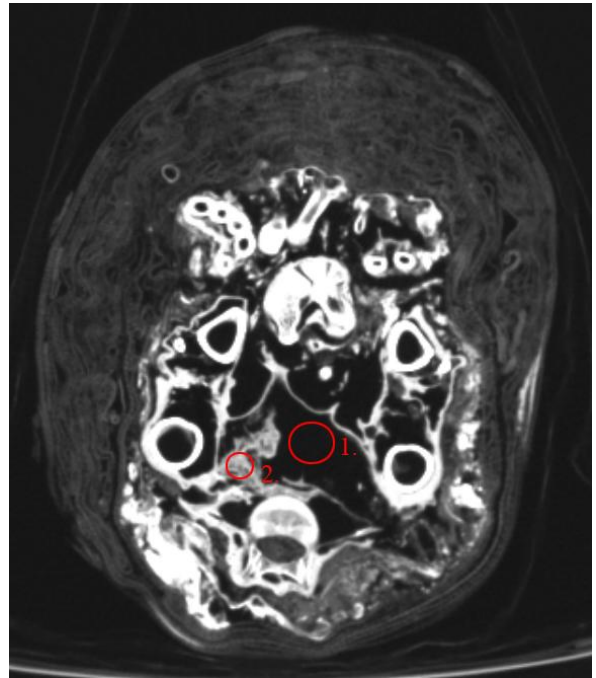


Abbildung 47: Hund, Bild 9 CT

6.2 Messdaten der CT- und MRT-Bilder des altägyptischen Hundes

Bild	Punkt	Mean MRT	SD MRT	CNR-MRT	Mean CT	SD CT	CNR-CT	CNR MRT / CNF
1	1	8.9	2.9		-974.5	17.5		
1	2	61.9	7.7	10	223.6	96.2	21.07476	47.45%
2	1	6.6	1.9		-973.1	18.7		
2	2	72.6	6.4	15.90361	208.9	57	31.22853	50.93%
3	1	7.6	2.1		-987.4	16		
3	2	53.5	2.8	18.73469	123.8	67.6	26.58373	70.47%
4	1	4.6	1.7		-995	11.8		
4	2	55.7	3.2	20.85714	136.9	39.1	44.47544	46.90%
5	1	8.9	2.9		-1009.7	8.8		
5	2	61.9	7.7	10	938.9	411.9	9.263608	107.95%
6	1	4.6	1.7		-1005.2	10.1		
6	2	55.7	3.2	20.85714	75.1	41.4	41.9534	49.72%
6	3				441.1	139		
7	1	8.1	2.3		-1001.9	11.8		
7	2	135.9	19.9	11.51351	313.1	57.5	37.95094	30.34%
7	3	141.1	19.3	12.31481	257.9	51.2	39.99365	30.79%
7	4	124.2	10.2	18.576	366.5	47.1	46.4652	39.98%
7	5	130.6	15.1	14.08046	350.2	41.8	50.45149	27.91%
8	1	12.7	2.1		-994.1	13.7		
8	2	133.6	14.4	14.65455	371.1	29.4	63.35035	23.13%
8	3	149.2	15.2	15.78035	322.9	148.9	16.19926	97.41%
9	1	9.8	2.4		-40.2	87		
9	2	106.7	7.6	19.38	-972.7	13.7	18.52036	104.64%

Peruanische Mumie

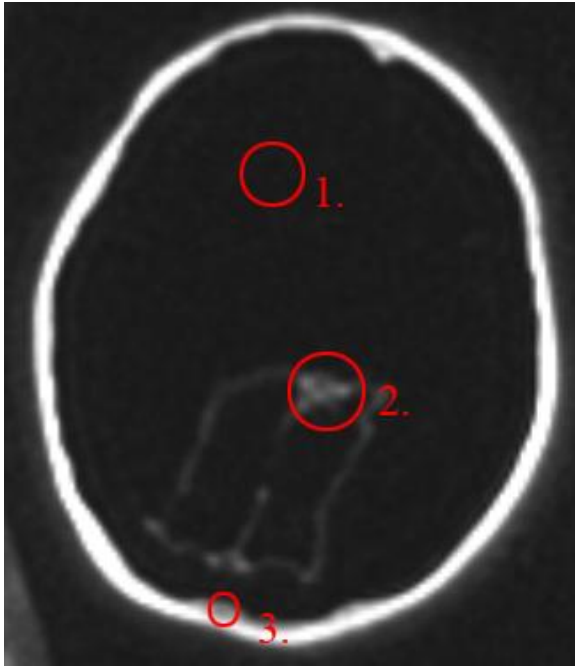


Abbildung 48: Peru, Bild 1, MRT

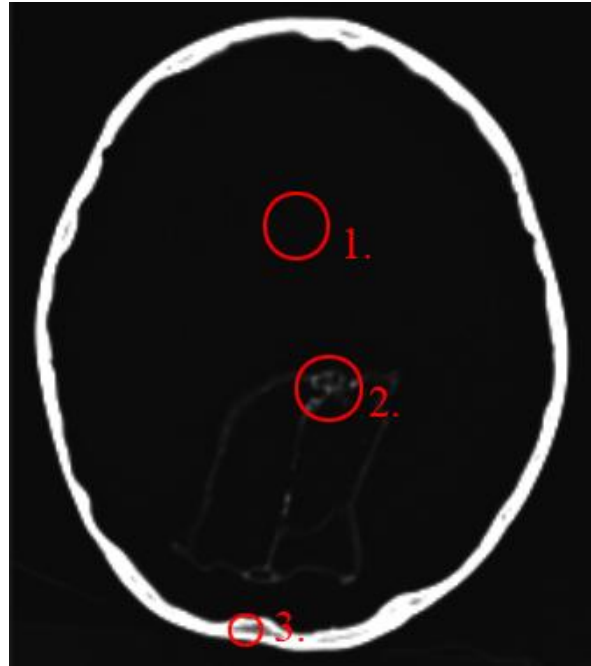


Abbildung 49: Peru, Bild 1, CT

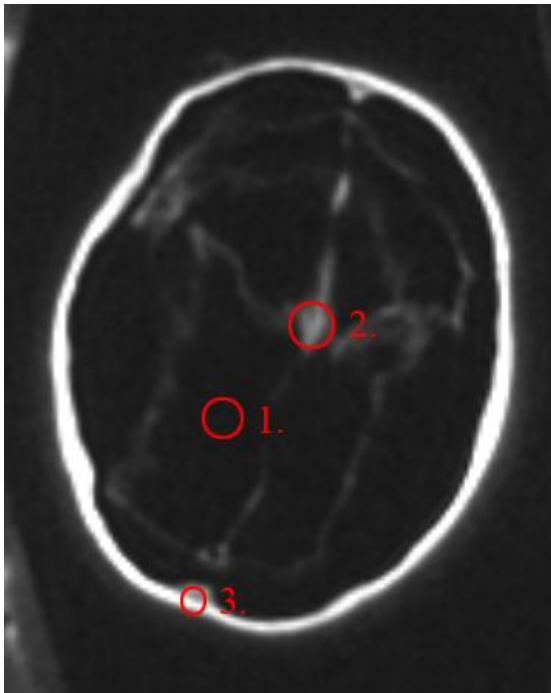


Abbildung 50: Peru, Bild 2, MRT

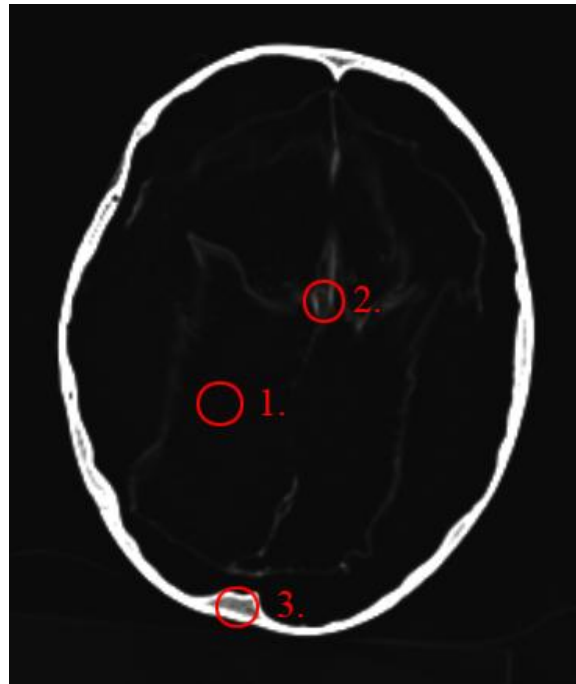


Abbildung 51: Peru, Bild 2, CT

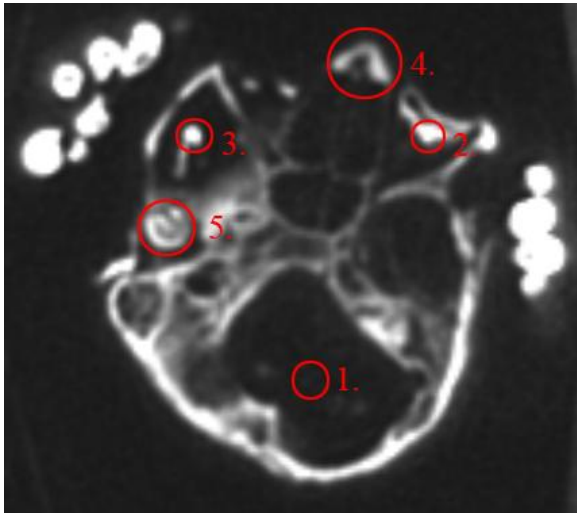


Abbildung 52: Peru, Bild 3, MRT

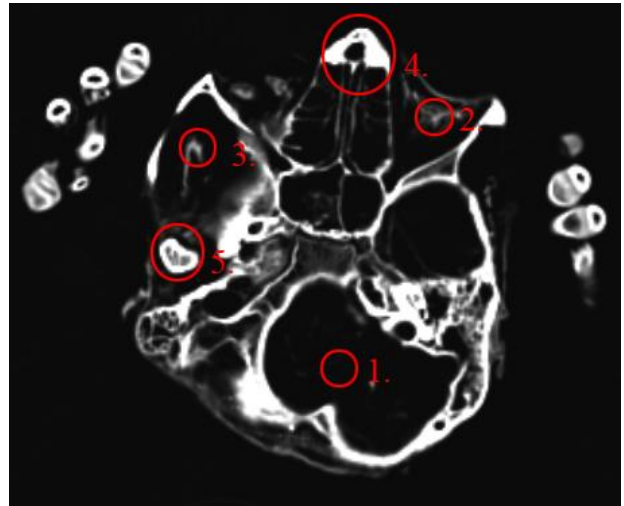


Abbildung 53: Peru, Bild 3, CT

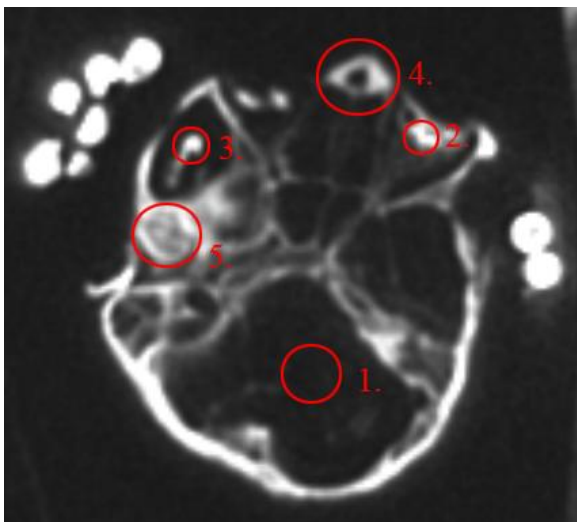


Abbildung 54: Peru, Bild 4, MRT

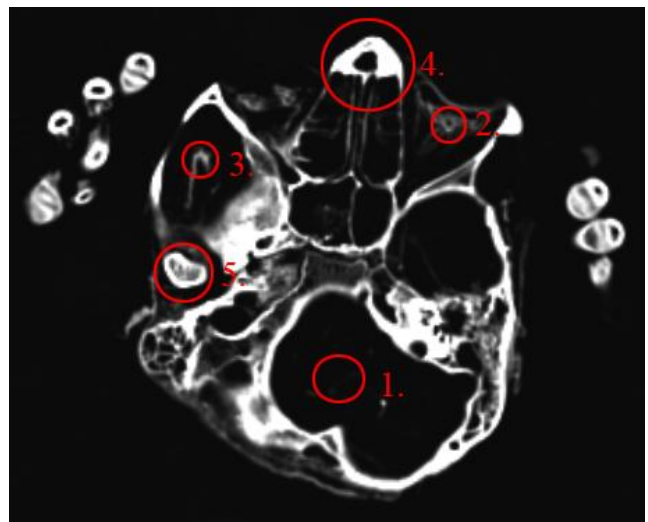


Abbildung 55: Peru, Bild 4, CT

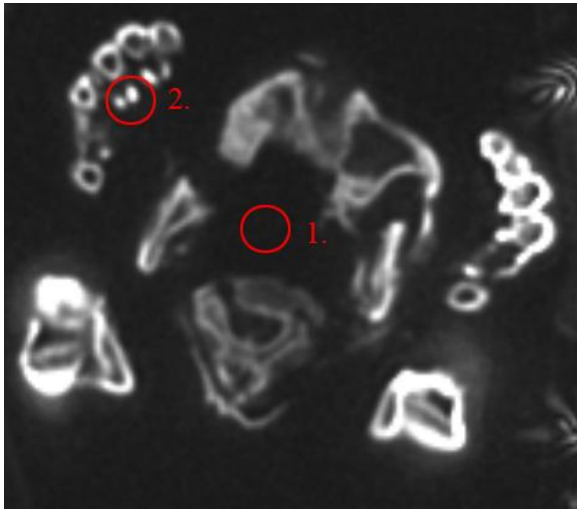


Abbildung 56: Peru, Bild 5, MRT

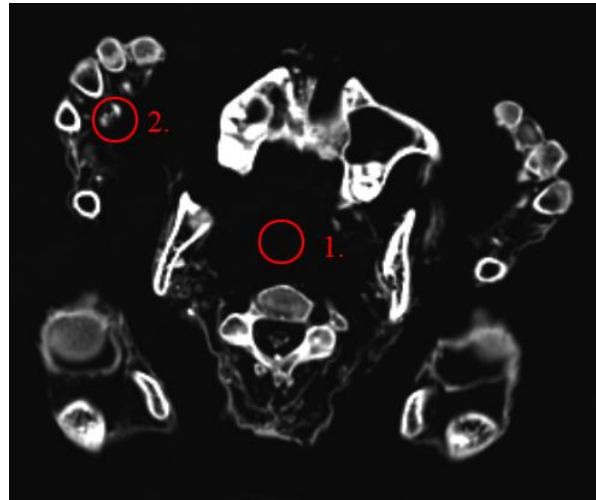


Abbildung 57: Peru, Bild 5, CT

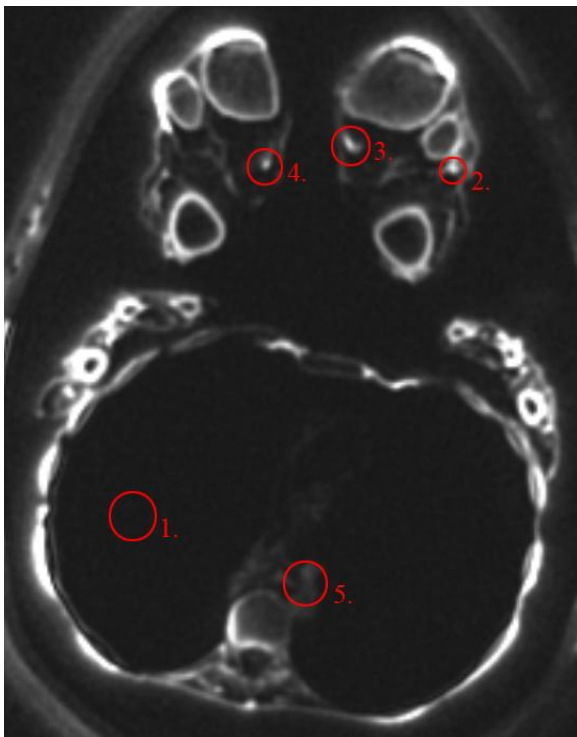


Abbildung 58: Peru, Bild 6, MRT

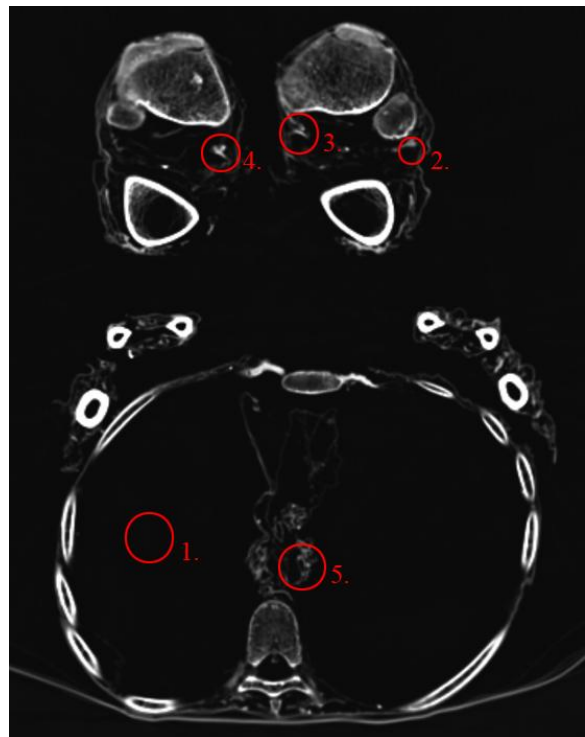


Abbildung 59: Peru, Bild 6, CT



Abbildung 60: Peru, Bild 7, MRT

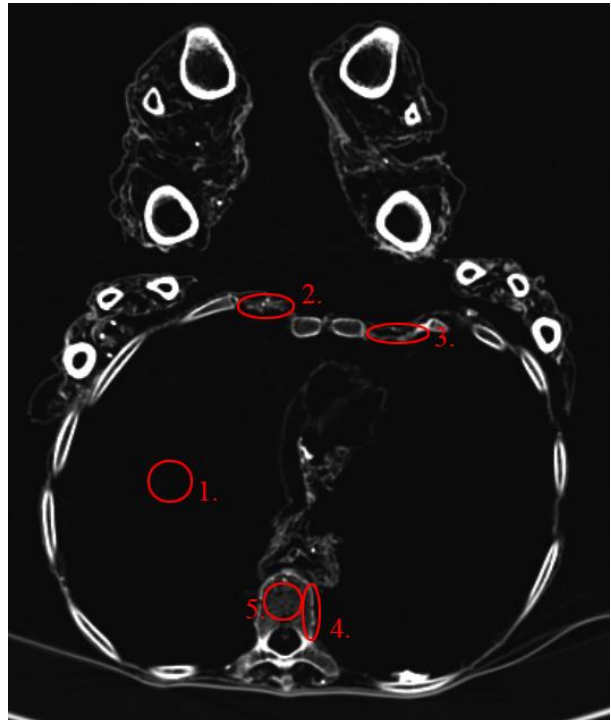


Abbildung 61: Peru, Bild 7, CT

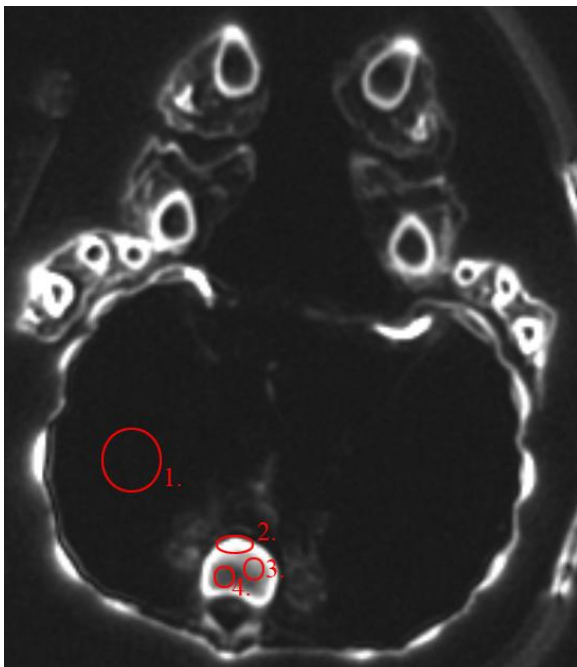


Abbildung 62: Peru, Bild 8, MRT

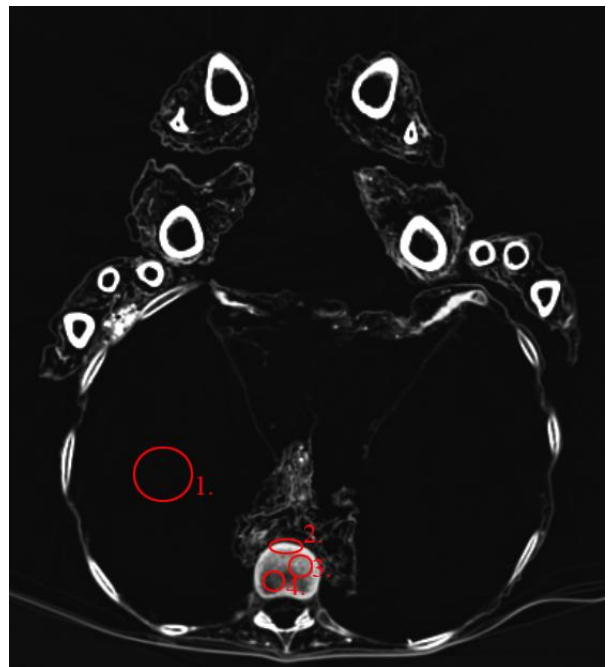


Abbildung 63: Peru, Bild 8, CT

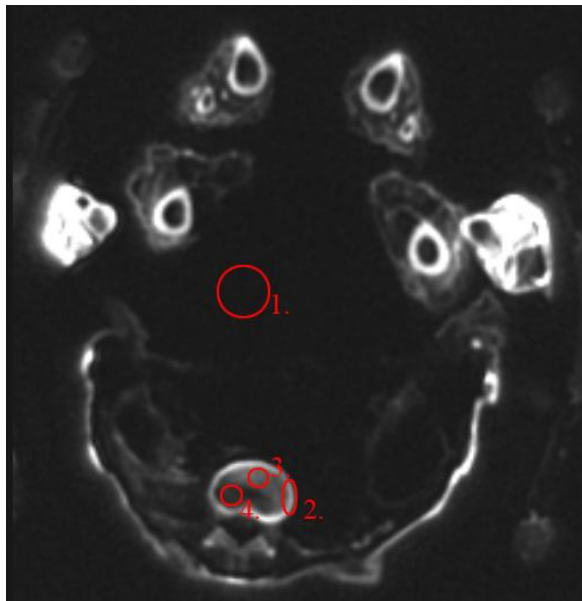


Abbildung 64: Peru, Bild 9, MRT

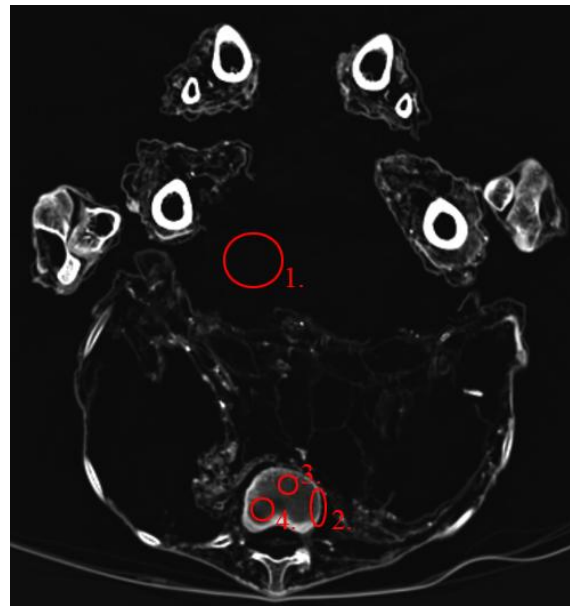


Abbildung 65: Peru, Bild 9, CT

6.3 Messdaten der CT- und MRT-Bilder der peruanischen Mumie

Bild	Punkt	Mean MRT	SD MRT	CNR MRT	Mean CT	SD CT	CNR MRT	CNR MRT / CNR CT
1	1	2.4	0.8		-1001	1.8		
1	2	26.7	5.7	7.476923	-655.3	118.7	5.737759	130.31%
1	3	68.7	6.5	18.16438	286.9	249.9	10.23361	177.50%
2	1	2.7	0.9		-1001.2	1.9		
2	2	34.8	4.9	11.06897	-706.5	86.3	6.68254	165.64%
2	3	62.4	6.4	16.35616	182.3	362.6	6.493827	251.87%
3	1	6.5	1.7		-987.5	3.9		
3	2	73.1	9.4	12	-508.5	130.4	7.133284	168.23%
3	3	78.9	17.7	7.463918	-220.8	93.6	15.72718	47.46%
3	4	47.7	8.9	7.773585	776.1	114.3	29.84095	26.05%
3	5	60.3	7	12.36782	379.2	363.8	7.433778	166.37%
4	1	5.9	1.7		-980.3	6.4		
4	2	69.7	7.9	13.29167	-404.5	89.6	11.99583	110.80%
4	3	74.4	15.2	8.106509	-165.3	73.5	20.4005	39.74%
4	4	55.2	6.2	12.48101	901.1	179.1	20.28464	61.53%
4	5	61.1	4.5	17.80645	604	433.1	7.209556	246.98%
5	1	4.2	1.2		-993.4	5.9		
5	2	82.4	18.4	7.979592	-56.6	98.1	18.01538	44.29%
6	1	2.8	1		-1004.2	2.7		
6	2	54.6	8.1	11.38462	-314.3	64.3	20.59403	55.28%
6	3	44.5	11.9	6.465116	-315.9	107.6	12.48051	51.80%
6	4	42.3	8.9	7.979798	-131.8	78	21.62082	36.91%
6	5	15.1	3.3	5.72093	-517	57	16.32161	35.05%
7	1	1.9	0.7		-1004	4.1		
7	2	92.2	17.2	10.08939	-614.7	36.4	19.22469	52.48%
7	3	90.1	16.1	10.5	-733.2	49.6	10.08566	104.11%
7	4	34.4	3.6	15.11628	-530.7	61.1	14.5184	104.12%
7	5	13.1	2.3	7.466667	-708.2	36.8	14.46455	51.62%
8	1	2.1	0.7		-1004.7	4.4		
8	2	81.1	8.9	16.45833	200.5	33.9	62.93473	26.15%
8	3	52.2	6.1	14.73529	-60.1	36.9	45.74334	32.21%
8	4	37.5	12	5.574803	-611	448	1.740495	320.30%
9	1	116.2	21.4		-1000	6.2		
9	2	52	7.9	4.382253	-469.9	135.6	7.476728	58.61%
9	3	60.6	3.1	4.538776	-643.1	27.8	20.99412	21.62%
9	4	21.96	8	6.410884	-669.7	27.3	19.7194	32.51%

Altägyptischer Kopf

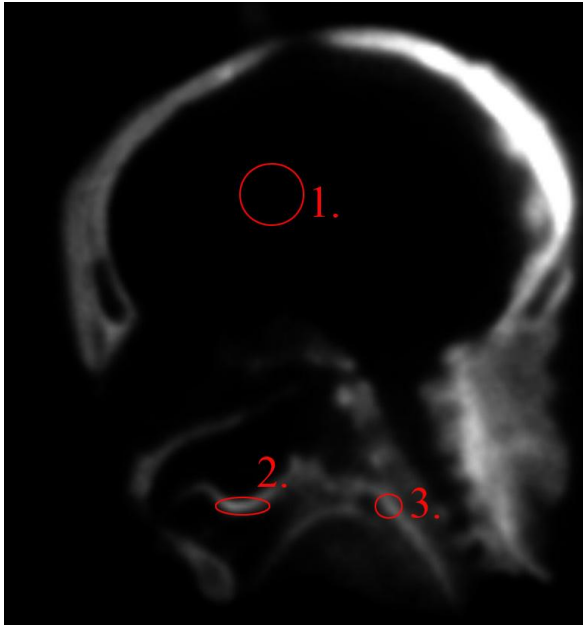


Abbildung 66: Kopf, Bild 1, MRT

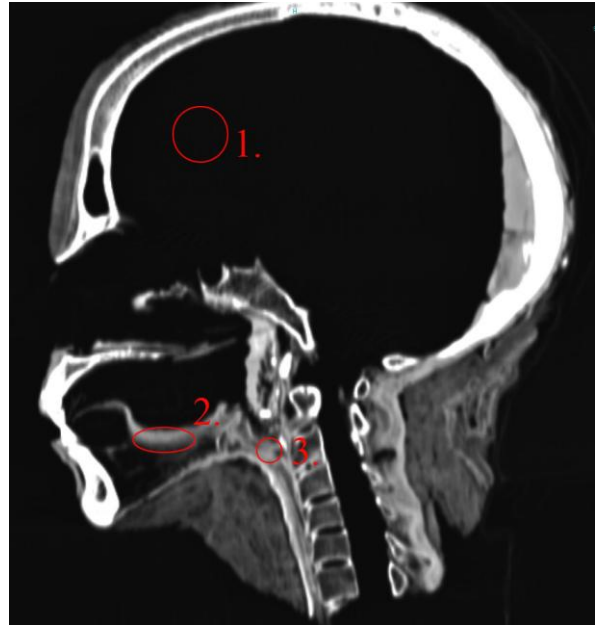


Abbildung 67: Kopf, Bild 1, CT



Abbildung 68: Kopf, Bild 2, MRT

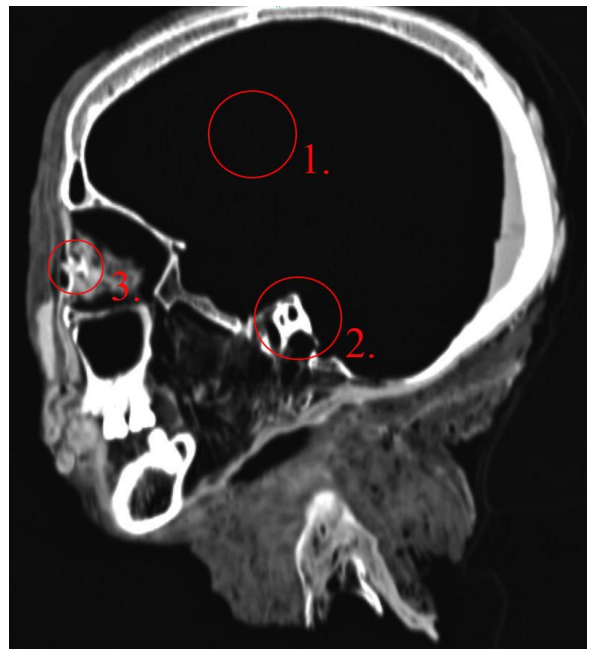
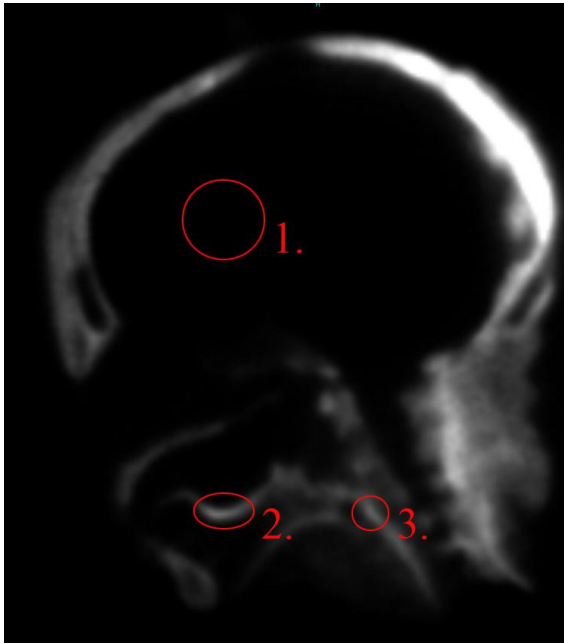
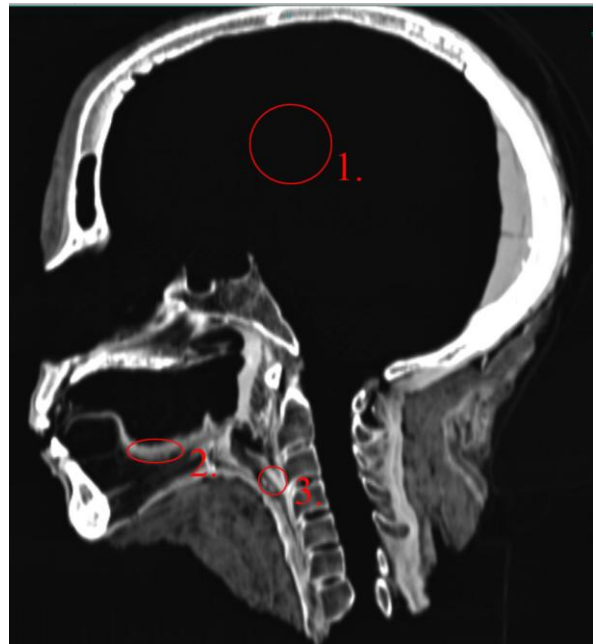


Abbildung 69: Kopf, Bild 2, CT



Abbildungung 70: Kopf, Bild 3, MRT



Abbildungung 71: Kopf, Bild 3, CT

6.4 Messdaten der CT- und MRT-Bilder des altägyptischen Kopfes

Bild	Punkt	Mean MRT	SD MRT	CNR MRT	Mean CT	SD CT
1	1	23.3	3.3		-994.1	3.1
1	2	289.4	13.3	32.06024	1141.9	132.7
1	3	340.2	18.6	28.94064	594	79.5
2	1	20.2	3		-995.6	3.7
2	2	310.8	16.3	30.11399	28.8	50
2	3	294.3	11.5	37.8069	41.4	38.7
3	1	20.3	3		-955	3.7
3	2	295.5	20.3	23.62232	30.2	62.4
3	3	292	14.6	30.875	22.7	68.3

6.5 NMR-MOUSE Daten

Altägyptischer Kopf		Supracapula der peruanischen Mumie		Tibia der peruanischen Mumie	
depth	Amplitude	depth	Amplitude	depth	Amplitude
0.1	0.98	0.1	2.38	0.1	0.56
0.2	2.17	0.2	6.52	0.2	1.08
0.3	6.99	0.3	10.51	0.3	3.31
0.4	8.70	0.4	14.61	0.4	4.61
0.5	10.15	0.5	17.46	0.5	6.73
0.6	13.67	0.6	17.97	0.6	6.68
0.7	13.78	0.7	16.26	0.7	6.58
0.8	15.69	0.8	15.38	0.8	8.49
0.9	16.16	0.9	16.11	0.9	9.11
1	17.87	1	14.71	1	10.56
1.1	18.23	1.1	13.36	1.1	10.46
1.2	18.70	1.2	13.88	1.2	10.20
1.3	19.68	1.3	12.95	1.3	10.56
1.4	20.41	1.4	14.76	1.4	8.70
1.5	18.23	1.5	15.28	1.5	6.94
1.6	18.65	1.6	15.33	1.6	6.11
1.7	17.82	1.7	14.97	1.7	5.33
1.8	17.09	1.8	14.92	1.8	6.16
1.9	16.26	1.9	14.19	1.9	4.66
2	15.44	2	13.41	2	4.71
2.1	16.26	2.1	12.69	2.1	5.44
2.2	12.33	2.2	13.10	2.2	5.80

Fortsetzung der NMR-Mouse Daten

2.3	12.17	2.3	11.39	2.3	4.40
2.4	12.07	2.4	11.65	2.4	0.98
2.5	13.21	2.5	11.29	2.5	1.60
2.6	12.12	2.6	11.91	2.6	0.82
2.7	11.86	2.7	9.43	2.7	2.22
2.8	12.48	2.8	10.56	2.8	2.53
2.9	12.69	2.9	12.07	2.9	3.10
3	12.84	3	10.10	3	2.43
3.1	14.92	3.1	9.27	3.1	3.16
3.2	15.28	3.2	11.19	3.2	3.67
3.3	15.80	3.3	12.02	3.3	7.04
3.4	16.73	3.4	9.53	3.4	10.25
3.5	15.02	3.5	10.31	3.5	9.79
3.6	16.47	3.6	9.94	3.6	8.34
3.7	15.54	3.7	9.94	3.7	4.81
3.8	13.83	3.8	10.41	3.8	4.50
3.9	12.59	3.9	10.46	3.9	4.71
4	12.38	4	10.25	4	11.50
4.1	12.22	4.1	8.54	4.1	9.89
4.2	11.34	4.2	10.46	4.2	8.23
4.3	10.93	4.3	9.63	4.3	5.90
4.4	11.24	4.4	8.70	4.4	7.20
4.5	10	4.5	8.39	4.5	5.23
4.6	9.43	4.6	9.68	4.6	5.95
4.7	8.86	4.7	9.37	4.7	5.54

Fortsetzung der NMR-Mouse Daten

4.8	9.32	4.8	7.77	4.8	6.32
4.9	8.54	4.9	6.68		
5	10.31	5	6.89		
5.1	8.70	5.1	6.42		
5.2	8.75	5.2	6.52		
		5.3	5.44		
		5.4	5.59		
		5.5	5.69		

6.6 C-14-Daten

Laborbericht vom Institut für Teilchenphysik ETH Höggerberg, Zürich

Calibrated C14 ages (Calendar time intervals) using OsCalv3.10

NFORM: References-Atomispheric data from Reimer et al. (2004)

IOxCal v3.10 Bronk Ramsey (2005); cub r:5 sd:12 prob usp[chron]

Lab Nr.	Sample Code	Material	C14 age BP	Delta C13 (‰)
ETH-33805	Bandage Hund	Textil	2095±45	-25.8 ± 1.1
ETH-33456	Wickelmaterial	Textil	2745 ± 45	-23.3 ± 1.1
ETH-33457	Gräser	Gras	735 ± 45	-22.0 ± 1.1
ETH-33458	Haut	Gewebe	830 ± 45	-22.0 ± 1.1
ETH-33455	Gewebe	Gewebe	3100 ± 70	-17.0 ± 1.1

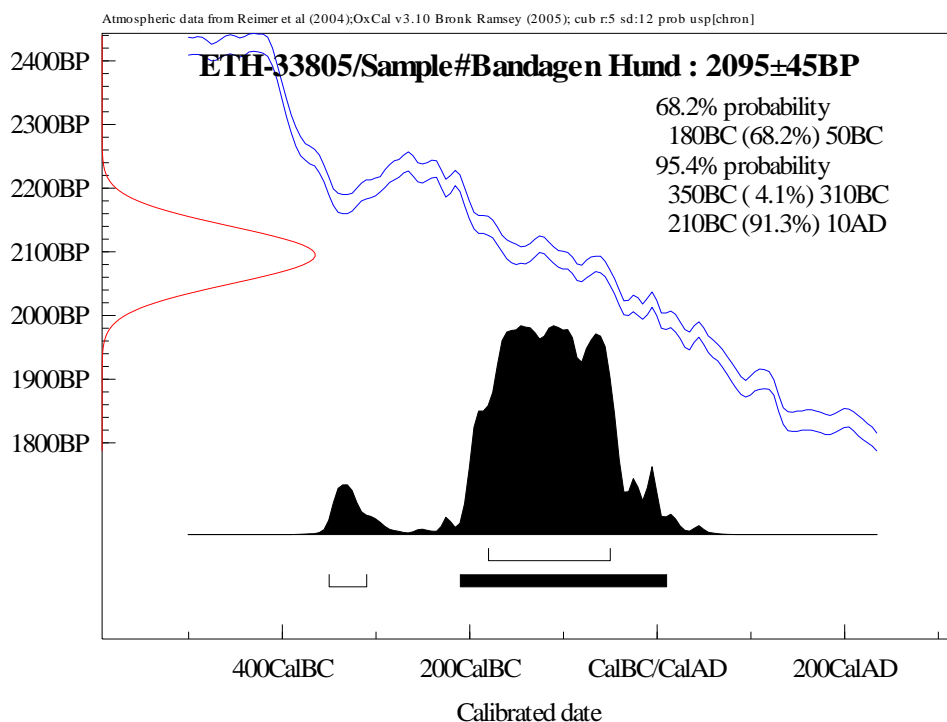


Abbildung 72: C14-Altersbestimmung, altägyptischer Hund, Bandagen

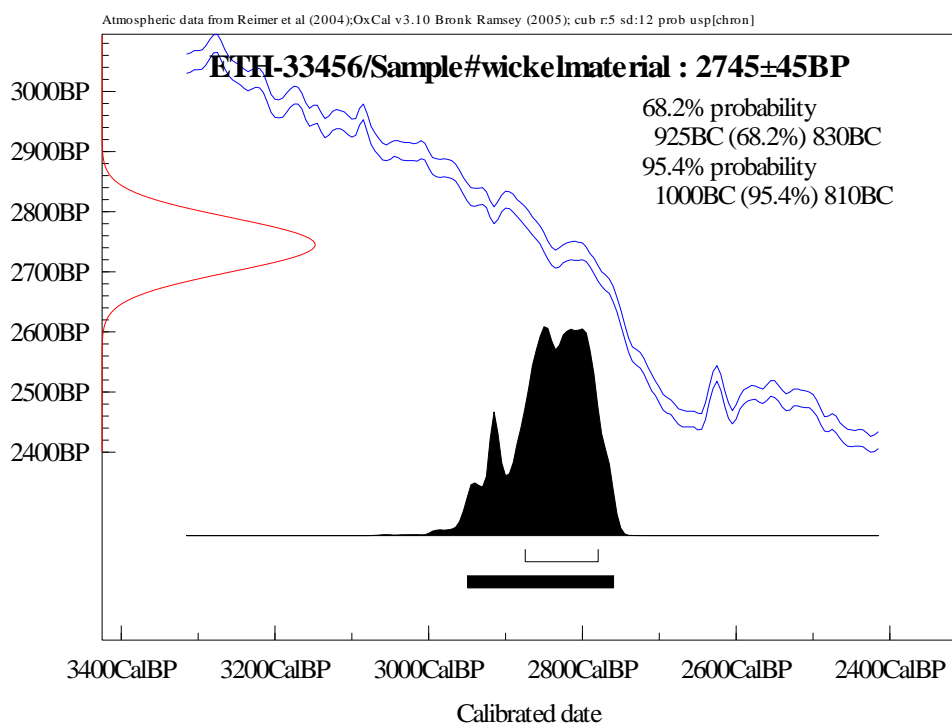


Abbildung 73: C14-Altersbestimmung, altägyptischer Mumienkopf, Bandagen

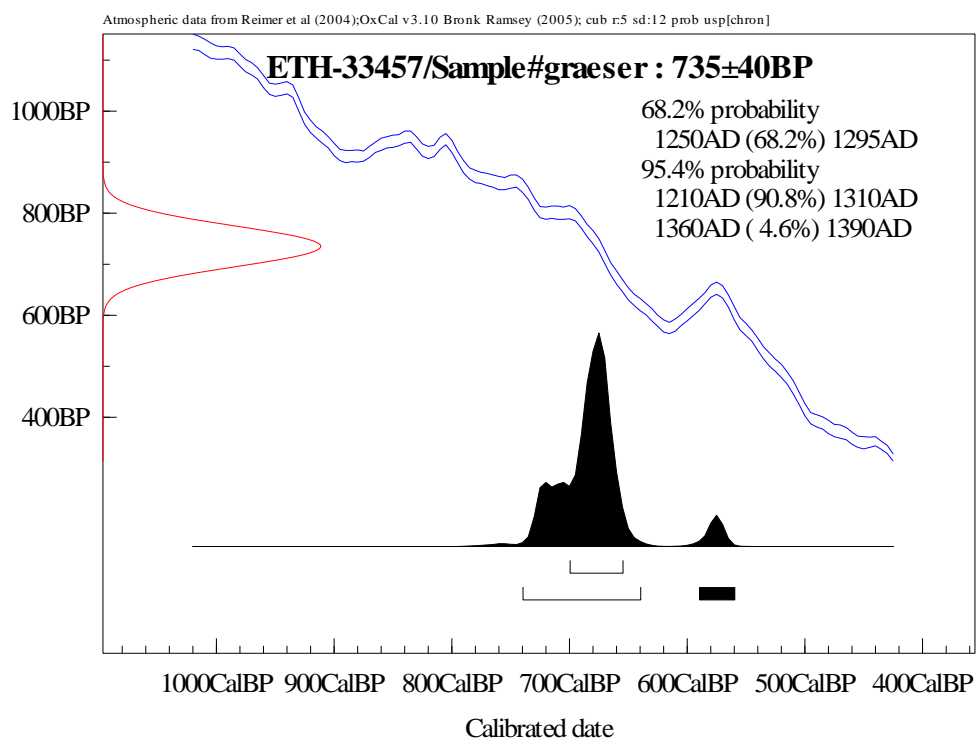


Abbildung 74: C14-Altersbestimmung, peruanische Mumie, Gräser

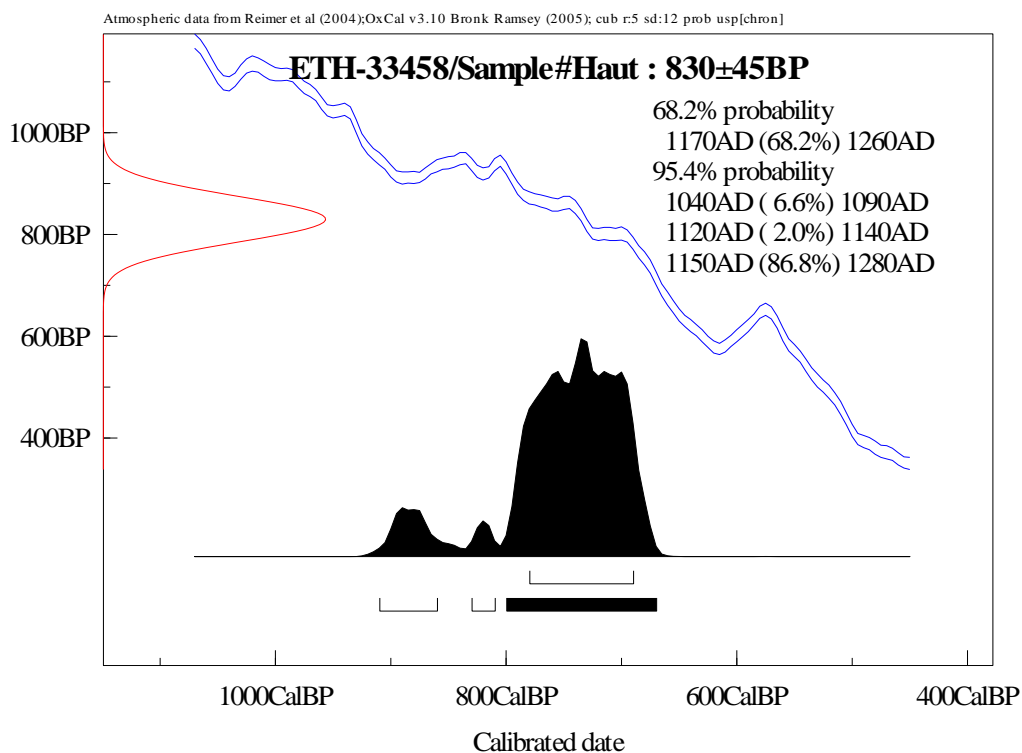


Abbildung 75: C14-Altersbestimmung, peruanische Mumie, Hautstück aus dem Oberarm

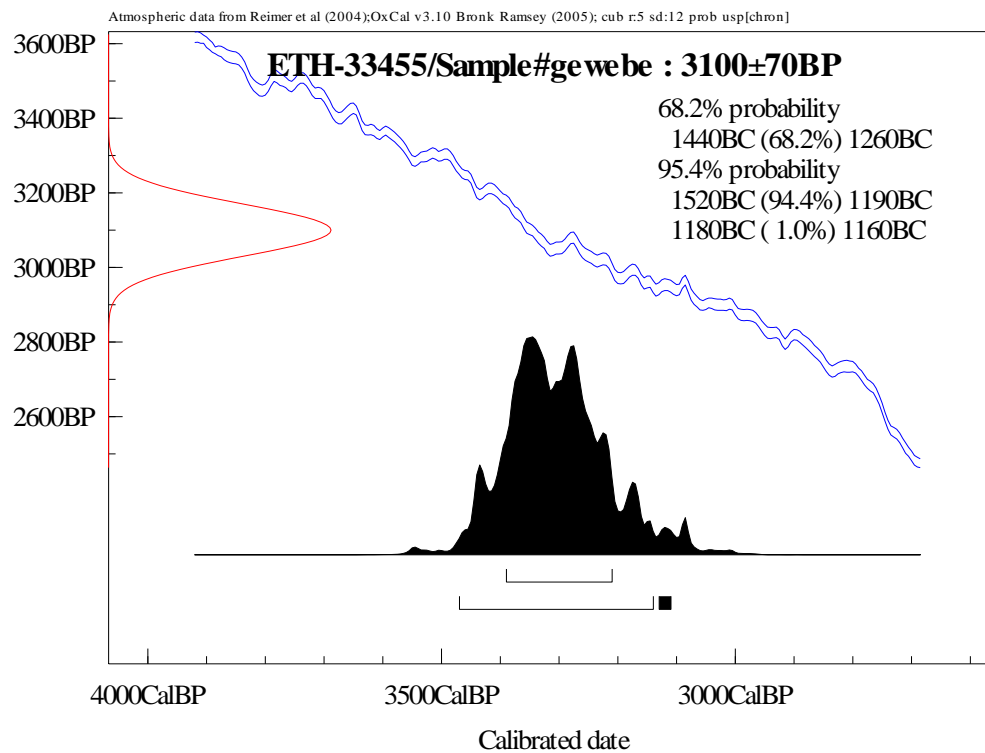


Abbildung 76: C14-Altersbestimmung, altägyptischer Mumienkopf, Gewebestück aus der Halsregion

7 Literaturverzeichnis

1. König, W., 14 Photographien mit Röntgen-Strahlen, aufgenommen im Physikalischen Verein Frankfurt A.M. 1896, Leipzig: J.A. Barth.
2. Holland, T.C., X-rays in 1896. *Liv Med Chir J*, 1937. 45: p. 61.
3. Petrie, W.M.F., Deshasheh 1897. *Memoir of the Egypt exploration fund*. Vol. 15. 1898, London: The offices of the Egypt exploration fund.
4. Harris, J.E. and E.F. Wente, eds. *An X-ray atlas of the royal mummies*. 1980, University of Chicago: Chicago.
5. Harris, J.E. and K.R. Weeks, *X-Raying the Pharaohs*. 1973, London: McDonald.
6. Harwood-Nash, D.C.F., *Computed Tomography of Ancient Egyptian Mummies*. *J Comput Assisted Tomogr*, 1979. 3: p. 768-773.
7. Hübener, K.H. and W.M. Pahl, *Computertomographische Untersuchungen an altägyptischen Mumien*. *Fortschr Geb Roentgenstr Nuklearmed*, 1981. 135: p. 213-219.
8. Strouhal, E., V. Kvivala, and L. Vyhnánek, *Computed Tomography of a series of Egyptian mummified heads*, in *Science in Egyptology*, A.R. David, Editor. 1986, Manchester University Press: Manchester. p. 123-127.
9. Notman, D.N.H., *Nuclear Magnetic Resonance imaging of an Egyptian mummy*. *Paleopathol Newsl*, 1983. 43: p. 9.
10. Notman, D.N., et al., *Modern imaging and endoscopic biopsy techniques in Egyptian mummies*. *Am J Roentgenol*, 1986. 146(1): p. 93-96.
11. Hunt, D.R. and L.M. Hopper, *Non-invasive investigations of human mummified remains by radiographic techniques*, in *Human Mummies. A Global Survey of their Status and the Techniques of Conservation*, K. Spindler, et al., Editors. 1996, Springer: Wien, New York. p. 15-31.

12. Notman, D.N.H., Ancient Scannings: Computed Tomography of Egyptian Mummies, in Science in Egyptology, A.R. David, Editor. 1986, Manchester University Press: Manchester, p. 251-320.
13. Lewin, P.K., Use of Nuclear Magnetic Resonance Imaging of Archaeological Specimens. *Paleopathol Newsl*, 1983. 43: p. 9.
14. Piepenbrink, H., et al., Nuclear-Magnetic-Resonance Imaging of Mummified Corpses. *American Journal of Physical Anthropology*, 1986. 70(1): p. 27-28.
15. Drenkhahn, R. and R. Germer, Mumie und Computer. 1991, Hannover: Kestner Museum Hannover.
16. Appelboom, T. and J. Struyven, Medical imaging of the Peruvian mummy Rascar Capac. *Lancet*, 1999. 354: p. 2153-2155.
17. Lewin, P.K. and D.C.F. Harwood-Nash, X-ray computed axial tomography of an ancient Egyptian brain. *Int Res Comm Sys Med Sci Libr Compend*, 1977. 5: p. 78.
18. Marx, M. and S.H. D'Auria, Three-dimensional CT reconstructions of an ancient human Egyptian mummy. *Am J Roentgenol*, 1988. 150(1): p. 147-149.
19. Pahl, W.M., F. Parsche, and G. Ziegelmayer, Innovationen in der Computertomographie (CT): Software-Routinen und ihre Relevanz für Mumienforschung und Anthropologie. *Anthropol. Anz*, 1988. 46: p. 17-25.
20. Germer, R., Altägyptische Mumien und neue Röntgentechnologien. 1995, Remscheid: Schriftenreihe Deutsches Röntgen-Museum Nr. 13.
21. Germer, R., H. Kischkewitz, and M. Lüning, Die Mumie des In-Em-Achet. *Jahrbuch der Berliner Museen* 1994, 1994. 36: p. 7-21.
22. Pahl, W.M., F. Parsche, and G. Ziegelmayer, [Innovations in computerized tomography: software routines and their relevance for mummy research and anthropology]. *Anthropol Anz*, 1988. 46(1): p. 17-25.
23. Ruffer, M.A. and R.C. Moodie, eds. *Studies in the Paleopathology of Egypt*. 1921, University of Chicago Press: Chicago.

24. Aufderheide, A.C., The scientific study of mummies. 2003, Cambridge University Press, Cambridge
25. Allison MJ, G.E., Paleopathology in south American mummies. Richmond, VA: Virginia Commonwealth University, 1982.
26. Sandison, A.T., The histological examination of Mummified Tissue. *Stain Technol*, 1955. 30(6): p. 277-283.
27. Turner, P.J. and D.B. Holtom, The use of a fabric softener in the reconstitution of mummified tissue prior to paraffin wax sectioning for light microscopical examination. *Stain Technol*, 1981. 56(1): p. 35-38.
28. Fulcheri, E., Immunohistochemistry: a new outlook in histopaleopathology. *Boll Soc Ital Biol Sperimentale*, 1995. 71(3-4): p. 105-110.
29. Walker, R., et al., Tissue-Identification and Histologic-Study of 6 Lung Specimens from Egyptian Mummies. *Am Phys Anthropol*, 1987. 72(1): p. 43-48.
30. Mekota, A.M. and M. Vermehren, Determination of optimal rehydration, fixation and staining methods for histological and immunohistochemical analysis of mummified soft tissues. *Biotech Histochem*, 2005. 80(1): p. 7-13.
31. Hess, M.W., et al., Histological investigations on the Tyrolean Ice Man. *Am Phys Anthropol*, 1998. 106(4): p. 521-532.
32. Zimmerman, M.R., Histological Examination of Experimentally Mummified Tissues. *Am Phys Anthropol*, 1972. 37(2): p. 271-280.
33. Williams, H., Gross and microscopic anatomy of two Peruvian mummies. *Arch Pathol Lab Med*, 1927(4): p. 26-33.
34. Yeatman, G., Preservation of chondrocyte ultrastructure in an Aleutian mummy. *Bull NY Acad Med*, 1971(7): p. 104-108.
35. JM. Riddle, K.H., JL Chason, RC Schwyn, Peripheral blood elements found in an Egyptian mummy: a three-dimensional view. *Science*, 1976. 23(192): p. 374-375.

36. Walker, R., et al., Tissue identification and histologic study of six lung specimens from Egyptian mummies. *Am J Phys Anthropol*, 1987. 72(1): p. 43-48.
37. Nerlich, A.G., et al., Immunohistochemical Detection of Interstitial Collagens in Bone and Cartilage Tissue Remnants in an Infant Peruvian Mummy. *Am Phys Anthropol*, 1993. 91(3): p. 279-285.
38. Denton, J., et al., The Histological Investigation and Coputerised Tomography Visualisation of the Peat preserved Head of "Worsley Man", in *Mummies in a New Millennium. Proceedings of the 4th World Congress on Mummy Studies*. Nuuk, Greenland, September 4th to 10th, 2001, N. Lynnerup, C. Andreasen, and J. Berglund, Editors. 2003: Copenhagen. p. 47-50.
39. Moissidou, D., The study of the state of preservation of mummified tissue from later period mummies, through histological, histochemical and immunological techniques. In: Lynnerup N, Andreasen C, Berglund J, editors. *Mummies in a new millennium. Proceedings of the 4th World Congress on Mummy Studies*. Copenhagen, Danmark: Danish Polar Center, 2003: p. 33-35.
40. Muller, R.A., Radioisotope Dating with a Cyclotron. *Science*, 1977. 196(4289): p. 489-494.
41. Nadjimi, M.P., and. Vogelsang, H., *Kranielle Computertomographie*. Thieme, Stuttgart-New York, 1981.
42. Dennis, R., *Die Kernspinresonanztomographie und ihre Anwendungen in der Veterinärmedizin*. *Vet Int* 2, 1993: p. 3-11.
43. Just, M.Z., S., *Einführung in die Magnetresonanztomographie*. MTA, 1988: p. 638-644.
44. EducETH Physik Radioaktivität. WebMuseen 1999.
45. Bonani, D.G., Merkblatt zur Interpretation von C14-Daten. Merkblatt zur Interpretation von C14-Daten.
46. Blümich, B., *NMR Imaging of Materials*. 2000, Oxford: Clarendon Press.

47. Blümich, B., Methods and Applications to Material Science. Plants and Biomedicine, 1992.
48. Guthausen A, Z.G., Eymael R, Schmitz U, Blümer P, Blümich B, Soft-Matter Relaxation by the NMR-MOUSE Spatially Resolved Magnetic Resonance, Wiley-VCH, Weinheim, 1998: p. 197-209.
49. Zimmer , G.A., and B., Solid State Nuclear Magnetic Resonance. Spatially Resolved Magnetic Resonance 12, 1998: p. 183-190.
50. Blümich, B., et al., Unilateral nuclear magnetic resonance for quality control - The NMR-mouse. Spectroscopy, 2003. 18(2): p. 18-32.
51. Kleinberg, R.L., Well Logging, in Encyclopedia of NMR, D.M. Grant and R.K. Harris, Editors. 1996, Wiley: New York. p. 4960-4969.
52. Prado, P.J., NMR hand-held moisture sensor. Magnetic Resonance Imaging, 2001. 19(3-4): p. 505-508.
53. Haken, R. and B. Blumich, Anisotropy in tendon investigated in vivo by a portable NMR scanner, the NMR-MOUSE. J Magn Reson, 2000. 144(2): p. 195-199.
54. Matzkanin, G., Nondestructive Characterization of Materials. Springer Verlag, 1998.
55. Blümich, B., et al., Ein mobiler und offener Kernspintomograph: Kernspintomographie für Medizin und Materialforschung. Physik in unserer Zeit, 2005. 36(5): p. 236-242.
56. Eidmann, G., et al., the NMR MOUSE, a Mobile Universal Surface Explorer J. Magn. Reson., 1996. A122: p. 104.
57. Miltner, O., et al., Mobile NMR-MOUSE®: eine neue Methode und erste Anwendung an der Achillessehne. Z Orthop Grenzgeb, 2002. 140: p. 148-152.
58. Bernd Herrmann, R.-D.Meyer., Südamerikanische Mumien aus vorspanischer Zeit: eine radiologische Untersuchung. Museum für Völkerkunde (Berlin, Germany).
59. Nguyen, T.H., Vergleich neuer Sequenzen in der Magnetresonanz-Koronarangiographie. 2005: p. 20.

60. Mayer, F., et al., Achillessehnenbeschwerden im Laufsport - eine aktuelle Übersicht. D Zeit Sportmed 2000. 51: p. 161-167.
61. Puddu, G., A classificaion of achilles tendon diseases. Am J Sports Med, 1976(4): p. 145-150.
62. Brier, B. and R. Wade, The use of natron in Egyptian mummification: preliminary report. Paleopathol Newsl, 1995. 89: p. 7-9.
63. R. Dunand, R.L., Mummies: a voyage through eternity. New York,: Abrams, 1994.
64. Moodie, R.L., Roentenologic studies of Egyptian and Peruvian mummies. 1931, Chicago: Chicago Field Museum of Natural History.
65. Gray, P.H., Radiography of ancient Egyptian mummies. 1967, Med Radiogr Photogr. 43(2): p. 34-44.
66. Whitehouse, W.M., Radiologic Findings in the Royal Mummies, in An X-ray atlas of the royal mummies, J.E. Harris and E.F. Wente, Editors. 1980, The University of Chicago Press: Chicago. p. 286-327.
67. Braunstein, E.M., et al., Paleoradiologic Evaluation of the Egyptian Royal Mummies. Skeletal Radiol, 1988. 17(5): p. 348-352.
68. Harwood-Nash, D.C., Computed tomography of ancient Egyptian mummies. J. Comput Assisted Tomogr, 1979. 3: p. 768-773.
69. Vahey, T. and D. Brown, Comely Wenuhotep Computed Tomography of an Egyptian mummy. J Comput Assisted Tomogr, 1984. 8: p. 992-997.
70. Marx, M. and S.H. D'Auria, CT examination of eleven Egyptian mummies. Radiographics, 1986. 6(2): p. 321-330.
71. Lewin, P.K., Mummies That I Have Known - Pediatricians Venture in Field of Paleopathology. Am Dis Child, 1977. 131(3): p. 349-350.
72. Shin, D.H., et al., Radiological analysis on a mummy from a medieval tomb in Korea. Ann Anat, 2003. 185: p. 377-382.

73. Previgliano, C.H., et al., Radiographic Studies of the Inca Mummies Found on Mount Llullaillaco, in *Mummies in a New Millennium. Proceedings of the 4th World Congress on Mummy Studies*. Nuuk, Greenland, September 4th to 10th, 2001, N. Lynnerup, C. Andreasen, and J. Berglund, Editors. 2003, Danish Polar Center: Copenhagen. p. 189-192.
74. Hoffman, H. and P.A. Hudgins, Head and skull base features of nine Egyptian mummies: evaluation with high-resolution CT and reformation techniques. *Am J Roentgenol*, 2002. 178: p. 1367-1376.
75. Cesarani, F., et al., Three Dimensional Volume Rendering with a Multislice Computed Tomography of Mummified Human Remains from the Egyptian Museum of Torino (Italy), in *Mummies in a New Millennium. Proceedings of the 4th World Congress on Mummy Studies*. Nuuk, Greenland, September 4th to 10th, 2001, N. Lynnerup, C. Andreasen, and J. Berglund, Editors. 2003, Danish Polar Center: Copenhagen. p. 138-141.
76. Hoffman, H., W.E. Torres, and R.D. Ernst, Paleoradiology: advanced CT in the evaluation of nine Egyptian mummies. *Radiographics*, 2002. 22: p. 377-385.
77. Marx, M. and S.H. Dauria, 3-Dimensional CT Reconstructions of an Ancient Human Egyptian Mummy. *Am Roentgenol*, 1988. 150(1): p. 147-149.
78. Baldock, C., et al., 3-D Reconstruction of an Ancient Egyptian Mummy Using X-Ray Computer-Tomography. *J Royal Soc Medi*, 1994. 87(12): p. 806-808.
79. Melcher, A.H., et al., Non-invasive computed tomography and three-dimensional reconstruction of the dentition of a 2,800-year-old Egyptian mummy exhibiting extensive dental disease. *Am J Phys Anthropol*, 1997. 103(3): p. 329-340.
80. Bou, C., et al., [Three-dimensional facial reconstruction of computerized tomography images by computer-aided design: example of an anthropologic study]. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*, 1998. 119(5): p. 333-335.
81. Macleod, R.I., et al., Mummy 1911-210-1. *J Royal Coll Surg Edinb*, 2000. 45(2): p. 85-92.

82. Zur Nedden, D., et al., Skull of a 5,300-Year-Old Mummy - Reproduction and Investigation with CT-Guided Stereolithography. Radiology, 1994. 193(1): p. 269-272.
83. Magid, D., et al., 3-Dimensional Imaging of an Egyptian Mummy. Clin Imaging, 1989. 13(3): p. 239-240.
84. Pickering, R.B., et al., Three-dimensional computed tomography of the mummy of Wenuhotep. Am J Phys Anthropol, 1990. 83: p. 49-55.

8 Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
C- ¹⁴	Kohlenstoff-14
CNR	Kontrast zu Rauschen
CPMG	Carr Purcell Meiboom Gill (Echo-Sequenz zur T2-Bestimmung)
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
RF	Refraktärzeit
SNR	Signal zu Rauschen
T1	T1-Relaxationszeit (Zeitkonstante der Longitudinalen Relaxationszeit oder Spingitter-Relaxationszeit, Einheiten in ms)
T2	T2-Relaxationszeit (Zeitkonstante der Transversalen Relaxationszeit oder Spin-Spin-Relaxationszeit, Einheiten in ms)
TE	Echozeit, Spin-Echo-Zeit (Einheiten in ms)
TR	Repetitionszeit
UTE	Ultra-Short-Echo-Time



Universität Zürich
unicom Media

Medienmitteilung

Zürich, 17. Dezember 2007

Durchbruch in der Mumienforschung an der Universität Zürich

Einem schweizerisch-deutschen Forscherteam unter Leitung von Dr. Dr. Frank Rühli vom Anatomischen Institut der Universität Zürich ist ein Meilenstein in der medizindiagnostischen Forschung an historischen Mumien gelungen. Weltweit erstmals konnte mittels der Magnetresonananztechnik (MRI) qualitativ hochwertige Bilder von intakten antiken Mumien generiert werden ohne vorherige zerstörende Befeuchtung der trockenen Gewebe. Dieser wissenschaftlich-methodische Durchbruch ist aktuell in der führenden ärztlichen Fachzeitschrift «Journal of American Medical Association» (Volume 298, issue 22) erschienen.

Mumien weisen im Gegensatz zu Skeletten die Erhaltung von Weichteilen auf. Daher ermöglichen diese wertvollen Körper auf einzigartige Weise, Lebensbedingungen der Vorzeit zu studieren aber auch die evolutionäre Entwicklung von heutigen Krankheiten. Aus ethischen Gründen werden so genannte nicht-invasive (nicht Gewebe zerstörenden) medizinische Methoden bei der Untersuchung historischer Mumien bevorzugt. Gerade die Magnetresonananztechnik, die ohne Röntgenstrahlen Einblick in das Körperinnere ermöglicht, ist daher ein sehr wünschenswertes diagnostisches Bildgebungsverfahren.

Erstmals ist es nun dem Forschungsteam «Swiss Mummy Project» um Dr. Dr. Frank Rühli vom Anatomischen Institut der Universität Zürich im Rahmen eines von ihm geleiteten Doktorandenprojektes (med. vet. H. von Waldburg) gelungen, erfolgreich MRI-basierte Bilder von trockenen Mumien – ohne deren vorgängige Befeuchtung – zu erzeugen. Möglich wurde dies nur dank einer neuartigen Software der SIEMENS Medical Solutions. Auf klinischen Standard-MR-Geräten wurde mittels so genannter ultra-short-echo-time-application (UTE) diverse ägyptische und peruanische Mumien und Mumienteile (ca. 1'500 v. Chr. bis 1100 n. Chr.) bei SIEMENS Medical Solutions analysiert. Die UTE-Anwendung erlaubt, auch ausgesprochen trockene Gewebe mittels der auf der Anregung von Wasserstoffkernen basierenden MR-Technik zu untersuchen. Dabei konnten u.a. Teile der Bandscheiben oder auch Einbalsamierungssubstanzen, die im alten Ägypten bei der Mumifizierung verwendet wurden, besonders genau untersucht werden.

«Dies ist ein medizindiagnostischer Durchbruch in der Erforschung von Mumien»,



so Frank Rühli. «Wir haben nun eine weitere, erstmals absolut zerstörungsfreie Untersuchungsmethode zur Verfügung, die uns noch differenziertere Analysen historischer aber auch moderner trockener Gewebe ermöglicht.» Besonders wichtig ist es, dass diese MR-Analysen nun möglich sind, ohne die wertvollen Gewebe vorher rehydrieren (befeuchten) zu müssen. Diese UTE-Untersuchungen werden in Zukunft auch für rechtsmedizinische oder anthropologische Fragestellungen verwendet werden können.

Diese erfolgreiche Forschungsarbeit zeigt auch die Bedeutung der Unterstützung von Forschungsprojekten durch kompetitive Drittmittelfinanzierung wie im vorliegenden Fall durch den Forschungskredit der Universität Zürich. Zudem hat sich die offizielle Forschungskooperation zwischen der Universität Zürich (Anatomisches Institut) und einem Industriepartner (Gruppe für Kardiovaskuläre Applikationsentwicklung bei MR, Siemens Medical Solutions, Erlangen, D) als äusserst wertvoll erwiesen. Die Arbeit wurde zudem auch durch das ZUSE Institut Berlin unterstützt.

Kontakt

Dr. Dr. Frank Rühli, Anatomisches Institut der Universität Zürich
Tel. +41446355315, Fax: +41446355702
frank.ruhli@anatom.uzh.ch

Universität Zürich

lic. phil. Beat Müller
Medienbeauftragter
Schönberggasse 15A, 8001 Zürich
+41 44 634 44 32
beat.mueller@unicom.unizh.ch

10 Danksagung

Herrn Dr. Dr. Frank J. Rühli danke ich für die Überlassung des hoch interessanten Themas , für die Betretung bei der Erstellung dieser Arbeit und für die Übernahme des Korreferates.

Herrn. Prof. Dr. A. Boos möchte ich ganz herzlich für die Durchsicht der Arbeit, sowie der Übernahme des Referates danken.

Ein grosser Dank gilt auch der Firma Siemens Medical Solutions und deren Mitarbeitern, allen voran Dr. Peter Speier, Dr. Sonia Nielles-Vallespin, Dr. Oliver Weber und Frau Silke Imhof für die grossartige Unterstützung bei den Messungen der MRT Daten.

Frau Dr. Dagmar Nitzl und Herrn Dr. Thomas Böni möchte ich danken für die Hilfe bei der Befundung der Mumien.

Dr. Achim Schäfer und seinem Team gilt ein grosser Dank für die Hilfe bei der Herkunftsbestimmung der peruanischen Mumie.

Dem Historischen und Völkerkundemuseum in St. Gallen danke ich für die Zuverfügungstellung der peruanischen Mumie.

Der orthopädischen Uniklinik Balgrist in Zürich, sowie dem Unispital in Basel danke ich für die Zurverfügungstellung der Computertomographen.

Herrn Prof. Hans-Christian Hege und dem Konrad-ZUSE-Zentrum für Informationstechnik in Berlin danke ich für die Möglichkeit mit dem Computerprogram AMIRA zu arbeiten.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern die mich auf meinem Weg immer unterstützt haben.

Lebenslauf

Name	Hendrik von Waldburg
Geburtsdatum	2.5.1977
Geburtsort	Glarus
Nationalität	Schweiz
Heimatort	Schwyz
1984 – 1987	Primarschule Greifensee/ Breiti
1987 – 1991	Primarschule Rickenbach / Mythen
1991 – 1993	Sekundarschule Oberägeri / Institut Dr. Pfister
1993 – 1998	Gymnasium Oberägeri / Institut Dr. Pfister
Mai 1998	Maturität Typus C
2000 – 2006	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
November 2006	Staatsexamen der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
2006 – 2008	Doktorand, Anatomisches Institut der Universität Zürich
2008 – 2009	Training, Manager, Glaxo Smith Kline / Schweiz

24.10.09